

DISSERTATION SUR LES CULÉES, VOUSSOIRS, PILES ET POUSSÉES DES PONTS.

CHAPITRE PREMIER.

Des cinq Difficultez proposées aux Sçavans, à resoudre.

CES cinq Difficultez sont,

1°, Quelle doit estre l'épaisseur des Culées dans toutes sortes de Ponts & Ponteaux de maçonnerie, à proportion de la grandeur des Arches & Arceaux, & des poids qu'elles doivent supporter.

2°, Quelle doit estre la largeur des Piles par rapport à l'ouverture des Arches & Arceaux, & des poids dont on les charge.

3°, Quelle doit estre la portée des Voussoirs depuis leur intradosse, à leur extradosse, à toutes sortes de grandeurs d'Arches & d'Arceaux, à l'endroit de la Clef.

4°, Et enfin, quelle est de toutes les Arches & Arceaux fixez sur un même diametre, qui pourra porter des plus grands fardeaux; ou à quelle proportion les uns & les autres détermineront au juste leurs efforts, ou celle de l'Ellipse à quelque surbaissement qu'on veüille la reduire, ou celle à plein ceintre, ou enfin celle à Tiers-point ou Gothique, à quelque hauteur qu'on veüille la faire atteindre.

5°, A ces quatre Propositions on en joint une cinquié-

me, qui est de marquer au juste quel doit estre le profil des murs de soutenemens pour retenir les terres d'une Chaussée, des Turcies, des Rempars dans les Fortifications, à toutes sortes de hauteurs, &c. On prétend que feu Mr le Maréchal de Vauban a donné un pareil Projet pour les Fortifications, qui peut servir à tous les cas qu'on propose ici, qui peut soutenir depuis 10 jusqu'à 80 pieds de hauteur de terre nouvellement transportée, & non rassise. Mais comme ce profil n'est fondé que sur l'experience de plus cinq cens mille toises cubes de maçonnerie, bâties à cent cinquante Places fortifiées sous les ordres & sous le Regne de LOUIS LE GRAND, à quoy il a esté toujours employé avec succès, sans autre preuve. On en demande la démonstration avec la resolution des quatre autres Propositions précedentes, afin que par des regles certaines on projette ces sortes d'Ouvrages, & dont personne jusques aujourd'hui n'a donné aucune solution.

Les Hypotheses qu'on établira pour principes doivent estre connuës certaines & évidentes, dont on ne puisse pas douter.

On demande qu'on s'explique avec des termes & un langage connu, afin que tout le monde l'entende, & en puisse juger.

Pour comprendre ce que je rapporte sur les cinq Difficultez que je propose, il ne faut pas avoir un génie superieur. J'espere que le moindre Ouvrier avec le sens commun, pourra tracer & démontrer ce que j'avance.

1°, Le sens commun fait bientost juger par le moyen d'un peu de Physique, de raisonnement & d'experience, qu'on comprendra facilement la liaison des differens materiaux qu'on employe pour la bâtisse des Arches & des voutes; & que s'il n'y a pas quelque chose comme la coupe des pierres, ou le mortier qui sert à leur liaison, il ne seroit pas possible de les construire. Les Anciens ne se sont servis que du premier expedient en certains

endroits dans leurs plus beaux Ouvrages, sans y mêler aucun mortier, comme on le remarque à leurs Arches extradossées; dont les Voussoirs n'ont aucune liaison entr'eux à côté & sous les Arches. Cet exemple se justifie à l'Aqueduc antique du Gard en Languedoc, & ailleurs; mais même encore au restant du corps du bâtiment dans l'Amphitheatre de Nismes, où toutes les pierres portent à sec les unes sur les autres, sans liaison de mortier. Comme aussi au Temple de Diane près la Fontaine de cette même Ville, vouté avec des Arcs-doubleaux alternativement, qui portent sur des rremeaux entre des niches. On ne doit pas toujours suivre ces exemples, surtout lorsqu'on n'a à employer que de petits materiaux, qui ne pourroient assurer l'Ouvrage s'il n'y avoit un fort mortier qui en fist la liaison.

2°, On a besoin de connoître quelque chose de la Statique, pour faire voir que tout ce qui tourne autour d'un essieu, comme dans les bassins d'une balance qui a ses bras égaux, ou inégaux, ne sera jamais en équilibre avec un autre poids, s'ils n'ont entr'eux une égale pesanteur, ou des raisons reciproques de leurs efforts. C'est ainsi qu'on s'assure de la Poussée des voutes, en leur opposant des forces qui ont une égale puissance.

3°, On doit encore employer les Méchaniques pour juger du pouvoir de tous ces corps, & des forces mouvantes, en ce que les uns qui sont supportez en l'air, peuvent agir contre ceux qui sont audessous fixes & arrestez en terre, qu'on suppose inébranlables, & qui les supportent, comme est l'Arche d'un Pont, une voute qui porte à faux & en l'air, & qui a diverses puissances sur les Piles & les Culées qui la soutiennent, & qu'on suppose inébranlables. Et à ce sujet la coupe des pierres y est absolument necessaire, qui détermine differemment les Poussées des unes & des autres par rapport à la difference de leurs coupes. Car il n'y a point de Voussoir qui estant incliné differemment, quoique portant une

même coupe, il n'agisse de toute autre maniere que ceux sur lesquels il est posé, & audessus duquel on en aura posé d'autres, qui agissent toujours differemment suivant la difference de l'inclination de leurs Plans.

4°, Et enfin, la Geometrie est necessaire à l'intelligence de ces cinq Propositions, pour pouvoir mesurer les surfaces ou les solides de tous ces corps qui ont diverses puissances, afin de les comparer les uns aux autres. Un peu de chacune de ces Sciences avec le sens commun, suffiront pour faire connoître facilement ce que j'avance. Je n'oublie rien pour me rendre aisé & intelligible, afin que ceux qui ne sçavent pas pour qui uniquement je travaille, en puissent plus facilement juger.

Pour estre plus aisément au fait, je vay rapporter tout ce que j'ay pû trouver chez les Auteurs Architectes, afin qu'on soit prévenu de leurs idées. Après cela j'établirai la Question pour la resoudre autant qu'il dépendra de moy & de mes connoissances.



CHAPITRE II.

Quelle doit estre l'épaisseur des Culées dans toutes sortes de Ponts & Ponteceaux de maçonnerie, à proportion de la grandeur des Arches & Arceaux, & des poids qu'elles doivent supporter.

Observations sur les Auteurs qui ont voulu déterminer la largeur des Culées.

MONSIEUR DE LA HIRE ce sçavant du siecle, prétend avoir démontré la Poussée des voutes, & déterminé l'épaisseur des Pieds-droits qui les supportent.

Les voutes dans son Ouvrage sont des Arches ou Arceaux des Ponts & Ponteeaux, & les Pieds-droits sont les Culées en question. Ainsi tout revient au même.

C'est un Problême, dit-il, des plus difficiles qu'il y ait dans l'Architecture que de connoître la force que doivent avoir les Pieds-droits des voutes pour en soutenir la Poussée; & les Architectes n'ont trouvé jusqu'à present aucune Regle certaine pour la déterminer. Ce Problême appartient à la Méchanique; & c'est par son moyen que nous pouvons le resoudre, en faisant quelques suppositions dont on convient facilement dans la construction de ces sortes d'Ouvrages.

On appelle la Poussée des voutes, l'effort que font toutes les pierres qui les forment, & qui sont taillées en coin, qu'on appelle Voussoirs, pour écarter les Jambages ou Pieds-droits qui soutiennent ces voutes. Et comme ceux qui ont esté les moins hardis dans leurs entreprises, ont donné une force extraordinaire à ces Pieds-droits pour rendre leurs Ouvrages plus durables, comme la plûpart des Anciens l'ont pratiqué; & que les autres au contraire ont esté trop hardis en faisant ces Pieds-droits trop foibles, & si délicats qu'ils ne paroissent pas pouvoir porter seulement la charge qui est au-dessus: On a crû qu'il falloit chercher dans la Geometrie une Regle sur laquelle on pût s'assurer pour déterminer la force dont on doit les faire.

On remarque ordinairement que lorsque les Pieds-droits d'une voute sont trop foibles pour en soutenir la Poussée, la voute se fend vers le milieu, entre son imposte & le milieu de sa Clef. C'est pourquoi on peut supposer que dans la moitié superieure du demi-arc, tous les Voussoirs sont si bien liez les uns aux autres, qu'ils ne forment que comme une seule pierre. Et c'est sur cette supposition, & sur la solidité de la fondation où les Pieds-droits sont assis, que l'on établit la démonstration de la Regle que l'on trouvera dans la suite.

Voyez page 70 des Memoires de l'Academie année 1712.

Après cela M[r] de la Hire entre en matiere, expose la figure de la voute, dont il pretend prouver la Poussée, & déterminer la largeur que doit avoir le Pied-droit qui la supporte.

J'avouë ingenuëment que je ne suis pas assez habile pour la comprendre. Je n'ay pas pû même suivre son Operation tant je la trouve composée ; & je regarde tout ce qu'il nous a dit, comme une chose dont les demi Sçavans, & surtout les Ouvriers, ne sçauroient comprendre. Car si pour concevoir ce qu'il rapporte, il faut sçavoir absolument l'Algebre, dont il emprunte les secours, je ne crois pas qu'aucun Tailleur de pierres, Appareilleur, ni Architecte, pour qui ces sortes d'Ouvrages doivent estre faits & rendus aisez, en puissent jamais profiter, parce que pour l'ordinaire ces Personnes ne s'appliquent pas à cette Science, comme inutile à leur Profession, & comme infiniment occupez ailleurs à leurs Ouvrages. Et tant que nos pensées ne seront pas aisées à penétrer aux moins Sçavans, elles ne seront pas instructives, & par consequent deviennent inutiles à la Posterité. Je suis prévenu que lorsque M[r] de la Hire voudra bien resoudre ces Difficultez, pour les rendre aisées à tous ceux qui se mêlent de bâtir, il pourra le faire mieux qu'un autre, comme ayant plus de lumieres ; & c'est ce qui est bien à souhaiter.

On trouve dans les Memoires de l'Academie Royale des Sciences année 1704, sur la figure de l'extradosse d'une voute circulaire, dont tous les Voussoirs sont en équilibre entr'eux, qu'une voute ou un Arc demi-circulaire estant posé sur les deux pieds droits, & toutes les Pierres ou Voussoirs qui composent cet Arc, estant faites & posées entre eux de maniere que leurs joints prolongez se rencontrent tous au centre de l'Arc. Il est évident que tous les Voussoirs ont une figure de coin plus large par haut que par bas, en vertu de laquelle ils s'ap-

puyent, & se soutiennent les uns les autres, & resistent reciproquement à l'effort de leur pesanteur qui les porteroit à tomber. Le Voussoir du milieu de l'Arc qui est perpendiculaire à l'Orizon, & qu'on appelle Clef de voute, est soutenu de part & d'autre par les deux Voussoirs voisins, precisément comme par des Plans inclinez; & par consequent l'effort qu'il fait pour tomber n'est pas égal à sa pesanteur, mais en est une certaine partie, d'autant plus grande que les Plans inclinez qui le soutiennent, sont moins inclinez. De sorte que s'ils estoient infiniment peu inclinez, c'est à dire perpendiculaires à l'Orizon aussibien que la Clef de voute, elle tendroit à tomber par toute sa pesanteur, ne feroit plus soutenuë, & tomberoit effectivement, si le ciment que l'on ne considere pas ici, ne l'en empêchoit. Le second Voussoir qui est à droite ou à gauche de la Clef de voute est soutenu par un troisiéme Voussoir, qui en vertu de la figure de la voute est necessairement plus incliné à l'égard du second, que le second ne l'est à l'égard du premier, & par consequent le second Voussoir dans l'effort qu'il fait pour tomber, exerce une moindre partie de sa pesanteur que le premier. Par la même raison tous les Voussoirs à compter depuis la Clef de voute, vont toujours en exerçant une moindre partie de leur pesanteur totale; & enfin ce dernier qui est posé sur une surface orizontale du Pied-droit n'exerce aucune partie de sa pesanteur, ou ce qui est la même chose ne fait nul effort pour tomber, puisqu'il est entierement soutenu par le Pied-droit.

Si l'on veut que tous ces Voussoirs fassent un effort égal pour tomber, ou soient en équilibre, il est visible que chacun depuis la Clef de voute jusqu'au Pied-droit, exerçant toujours une moindre partie de sa pesanteur totale; le premier, par exemple, n'en exerçant que la moitié, le second un tiers, le troisiéme, un quart, &c. Il n'y a pas d'autre moyen d'égaler ces differentes par-

ties, qu'en augmentant à proportion les Touts dont elles sont parties ; c'est à dire qu'il faut que le second Voussoir soit plus pesant que le premier, le troisiéme plus que le second, & ainsi de suite jusqu'au dernier qui doit estre infiniment pesant, parce qu'il ne fait nul effort pour tomber, & qu'une partie nulle de sa pesanteur ne peut estre égale aux efforts finis des autres Voussoirs, à moins que cette pesanteur ne soit infiniment grande. Pour prendre cette même idée d'une maniere plus sensible, & moins Metaphysique, il n'y a qu'à faire reflexion que tous les Voussoirs, hormis le dernier, ne pourroient laisser tomber un autre Voussoir quelconque sans s'élever, qu'ils resistent à cette élevation jusqu'à un certain point déterminé par la grandeur de leur poids, & par la partie qu'ils en exercent, qu'il n'y a que le dernier Voussoir qui puisse en laisser tomber un autre, sans s'élever en aucune sorte, & seulement en glissant orizontalement, que les poids tant qu'ils sont finis n'apportent aucune resistance au mouvement orizontal, & qu'ils ne commencent à y en apporter une finie que quand on les conçoit infinis.

M. de la Hire dans son Traité de Méchanique imprimé en 1695, a démontré quelle estoit la proportion selon laquelle il falloit augmenter la pesanteur des Voussoirs d'un Arc demi-circulaire, afin qu'ils fussent tous en équilibre. Ce qui est la disposition la plus sûre que l'on puisse donner à une voute pour la rendre durable. Jusques-là les Architectes n'avoient eu aucune Regle précise, & ne s'estoient conduits qu'en tâtonnant. Si l'on compte les degrez d'un quart de cercle, depuis le milieu de la Clef de voute jusqu'à un Pied-droit, l'extremité de chaque Voussoir appartiendra à un Arc d'autant plus grand qu'elle sera éloignée de la Clef. Et il faut par la Regle de M. de la Hire, augmenter la pesanteur d'un Voussoir pardessus celle de la Clef autant que la tangente de l'Arc de ce Voussoir l'emporte sur la tangente de l'Arc de la

moitié de la Clef. La tangente du dernier Voussoir devient necessairement infinie, & par consequent aussi sa pesanteur. Mais comme l'infini ne se trouve pas dans la pratique, cela se réduit à charger autant qu'il est possible les derniers Voussoirs, afin qu'ils resistent à l'effort que fait la voute pour les écarter, qui est ce qu'on appelle la Poussée.

M. Parent a cherché quelle seroit la courbure exterieure, ou l'extradosse d'une voute dont l'intradosse seroit circulaire, & tous les Voussoirs en équilibre par leur pesanteur, selon la Regle de M. de la Hire. Car il est clair que tous ces Voussoirs inégaux dans une certaine proportion feroient en dehors une certaine courbure reguliere, il ne l'a trouvée que par points, mais d'une maniere fort simple. De sorte que par sa Methode on pourroit assez facilement construire une voute dont on seroit sûr que tous les Voussoirs seroient en équilibre.

Un fruit considerable de la recherche de M. Parent, c'est qu'il a découvert en même temps la mesure de la Poussée de la voute, ou quel rapport a cette Poussée au poids de la voute. On sçavoit seulement que cet effort estoit tres grand, & on y opposoit de grosses masses de Pierres, ou Culées, plûtost trop fortes, que trop foibles, mais on ne sçavoit point précisément où il s'en falloit tenir. On pourra le sçavoir presentement, les Arts se sentent toujours du progrés de la Geometrie, &c.

Voici sur quelles Regles tous ceux qui se mêlent de bâtir se conduisent, ou se sont conduits jusqu'aujourd'hui en fait de Pieds-droits qui supportent les voutes, ou bien les Culées dans les Ponts.

Le sçavant Pere Deran dans son Traité de la coupe des pierres, & M. Blondel Architecte du Roy, un des plus habiles Hommes que nous ayons eu dans le Siecle passé, & dans son Traité d'Architecture, tablent sur les mêmes Operations comme tous les autres qui sont venus aprés eux.

Dans quelque espece de voute, ou d'Arche de Pont que ce puisse estre, disent-ils, elliptique, à plein ceintre, à tiers-point & à portion de cercle, divisez en la circonference dans l'intradosse en trois parties égales, Planche premiere, Figure premiere, comme l'on voit dans la Figure à plein ceintre en *AO*, *O P*, & *PM*, prolongez en une *P M*, en *S*, en sorte que *M S*, soit égale à *P M*. Faites tomber sur *A R*, Diametre prolongé du Point *S*, la perpendiculaire *S R*, qui déterminera l'épaisseur de la Culée par *M R*, prolongez cette perpendiculaire en *Q*, jusqu'à la rencontre de *E Q* continuée, qui donnera l'épaisseur de la maçonnerie jusqu'au dessous de l'intradosse.

Cette Operation n'est point prouvée pour faire voir qu'elle soit juste ou veritable. Ainsi ce n'est rien dire, & c'est donner au hazard que de la suivre.

Ce qui est le plus à remarquer dans la construction de tous ces differens Arcs, dit M. Blondel, c'est la difference de leurs Poussées; c'est-à-dire de la force qu'ils ont chacun en particulier à charger plus ou moins les Piles, ou les Pieds-droits qui les portent; car il est certain que plus un Arc est surmonté, & moins il pousse. Comme au contraire les Arcs surbaissez sont ceux dont la Poussée est la plus forte, laquelle s'augmente, ou diminuë suivant la difference du plus ou du moins de son surbaissement. Ainsi il est à propos de donner des épaisseurs differentes aux Piles, ou aux pieds droits, suivant la difference des Poussées, en conformité de l'Operation que nous venons de citer ci-devant.

Voici ce qu'il a suivi sur cette difficulté dans l'execution de son Pont de Xaintes. Il fait les Piles comme 3 à 8, par rapport à l'ouverture des Arches, & la Pile du bout vers le Pont-levis qui sert de Culée, & qui est coupée, il y donne un sixiéme de plus de largeur, à cause qu'elle doit soutenir de ce côté, la Poussée de tous les Arcs qui sont à ceintre surbaissé, surquoi il sera facile

de faire un compte pour sçavoir s'il a suivi la Methode qu'il nous prescrit, dont il fait une Regle generale.

Palladio nous dit que les têtes des Ponts qu'il appelle Culées, doivent estre tres solides, les faire aux endroits où les rivages sont de roc, ou de tuf, ou de bon terrain, autrement il faut les affermir par l'Art, par d'autres Piles, ou par d'autres Arcs.

Parlant ensuite des Arcs, il dit que les plus forts sont à plein ceintre, parce qu'ils portent entierement sur les Piles, sans se pousser les uns les autres. Quand on est contraint par la trop grande hauteur, on peut les faire à Arcs diminuez, ou surbaissez, en sorte que leur hauteur à plomb sur la ligne de leur corde soit le tiers de la même corde, auquel cas il faut extremement fortifier les Culées.

Dans la Description qu'il fait du Pont de Rimini bâti par Auguste, il donne sept pieds & demi aux Culées qui supportent des Arches de vingt pieds d'ouverture. Il donne ensuite les proportions de celui bâti sur la Bachiglione Pont antique, où il fait les Culées de trois pieds & demi de large, supportant des Arches de vingt deux pieds d'ouverture.

Les Culées du Pont antique sur la Rerone, n'ont non plus que trois pieds & demi de large, & supportent des Arches de vingt-cinq pieds d'ouverture, suivant qu'il nous dit.

Et c'est là tout ce que les Architectes nous rapportent des Culées des Ponts; surquoi certainement on ne peut prendre aucunes mesures pour en faire une Regle generale, & pour s'y assurer, ni même donner aucune raison de ce qu'on fait. Je vais l'entreprendre sans aucun préambule.

Si l'on examine la Figure premiere, Planche premiere, on verra que *AM*, est le diametre d'une Arche à plein ceintre *AEM*, surbaissée, Gothique, ou toute autre qu'on voudra, dont on souhaite trouver la Poussée pour

y opposer une Culée, ou une puissance égale.

Prolongez indéfiniment le Diametre *M A*, du côté de *C*, toujours de niveau.

Elevez la perpendiculaire *A D*, indéfinie à la naissance de l'Arche *A*, & dont le point *A*, doit estre regardé comme un point d'appui, & inébranlable.

Tirez encore du point d'appui *A*, au sommet de l'Arche, ou au milieu de la Clef dans l'intradosse la ligne *A E*, & du point d'appui *A*, & de l'ouverture *A E*, décrivez le quart de cercle *D E B*, qui coupera *A M*, en *B*, & *A D*, indéfinie en *D*. Il est certain que *AB*, *AE*, & *A D*, sont égaux par l'Operation comme rayons d'un même cercle. Faites aussi *A C*, égal à *A B*.

Tirez ensuite l'hypothenuse *B D*, qui coupera *A E*, en *I*.

Abaissez du point *I*, la perpendiculaire *I L*, sur *AD*, qui sera moitié de *A B*.

Du sommet *E*, tirez l'indéfinie *E G*, parallele à *B C*, qui coupera *A D*, en *H*, & portez *I L*, de *H*, en *G*, pour servir de Culée à l'Arche *A E M*, en abaissant *G V*.

DEMONSTRATION.

1°, Si l'on examine la disposition de cette Figure, on verra que *C B*, estant de niveau, & *A B*, estant consideré comme la moitié d'une Platebande, d'une poutre, &c. Elle ne pourra rester dans cette situation, si on ne luy oppose depuis *A*, en *C*, une égale puissance audelà de son point d'appui *A*, qui est inébranlable. Or *A C*, est égal à *A B*, soit en longueur, soit en force, soit en pesanteur, &c. Donc *A C*, tient en raison & en équilibre *A B*. Supposons ici que *A B*, soit de 90 degrez de force, afin de rendre la Démonstration plus sensible à un chacun.

2°, Mais cette moitié de Platebande *A B*, est élevée perpendiculairement sur elle-même au point d'appui *A* en *A D*, de maniere que n'inclinant ni d'un côté, ni

d'autre, elle ne doit nullement pousser ni vers *B*, ni vers *C*, comme elle faisoit auparavant, donc il n'y a rien à luy opposer pour la tenir en raison. Le point d'appui *A*, sur lequel elle porte, suffit pour cela que nous supposons ici comme inébranlable ; & partant la Platebande *AB*, disposée en *AD*, perpendiculairement, n'aura aucune Poussée que nous exprimons par zero, au lieu qu'estant dirigée auparavant de niveau en *AB*, ses forces estoient de 90 degrez, ou telles autres qu'on aura supposées.

3°, Enfin cette même Platebande *AB*, de 90, degrez de force, estant dressée en *AE*, inclinée de 45 degrez entre *AD* zero, & *AB* de niveau, il n'y a pas de doute qu'empruntant les forces des unes & des autres de ces dispositions, elle ne devienne moyenne proportionnelle entre les deux *AB*, *AD*, en sorte que si la premiere a 90 degrez de force en Poussée, & que l'autre n'en ait point, *AE*, qui gardera le milieu entre les deux n'en aura que 45, & partant la moitié de *AB*, qui est *AN*, luy suffira pour la retenir, qui est la même que *IL*, ou *HG*, suffiront pour contrebalancer *AE*, ce qu'il falloit faire voir. De maniere que *AB*, moitié de la Platebande de 90 degrez de force, estant à *AD*, zero, comme *IL*, moitié de *AB*, puissance de 45 degrez à *LD*, zero, & en raison reciproque, la Poussée *AE*, de l'Arche *AEM*, sera *HG*, comme celle de la Platebande *AB*, sera *AC*, ce qu'il falloit démontrer.

Pour trouver les Poussées des Arches surbaissées qui sont audessous du plein ceintre, & celles des Arcs Gothiques qui sont audessus, on opere de la même maniere, & les unes & les autres estant comparées avec la Démonstration de celle à plein ceintre, & dont *DB*, détermine toujours les Poussées en *IL*, on prouve également, & sans difficulté la force & la puissance des unes & des autres.

Par tout ce que dessus on verra donc que *MR*, qui

est la Culée que le Pere Deran, & M. Blondel rapportent, n'est pas la même que celle de *AV*, qu'on vient de démontrer.

Que Si l'Arche *AEM*, estoit changée en une Platebande *AM*, la moitié *AF*, seroit retenuë par *AT*, qui luy est égale, &c.

Il n'y a personne ce me semble, qui sans même beaucoup de Geometrie comme sont la plûpart des Maistres Maçons, des Appareilleurs, & des Tailleurs de Pierres, ne puissent comprendre ce que j'avance, le tracer, & le démontrer sur toutes sortes d'Arches sans beaucoup d'operation.

DE LA PLATEBANDE.

Planche deuxiéme, Figure quatriéme.

Soit *GA*, *HC*, les bords des Murs des Culées, ou plûtost des Pieds-droits, contre lesquels il faut appuyer une Platebande.

Soit *AC*, l'espace entre les murs qui marque la longueur de la Platebande, qui sera de dix pieds, de dix toises, ou telles autres mesures qu'on voudra.

Tirez la ligne *CA*, & de cette ouverture de Compas *AC*, faites le triangle équilateral *AFC*, du point *F*, & de la même ouverture de Compas *FA*, décrivez la portion de cercle *AEC*, que vous diviserez en deux également au point *E*, sur l'Arc *AEC*, la hauteur *BE*, qui est environ un huitiéme de *AC*, donnera la hauteur de la Platebande pour la coupe des Clavaux.

Prolongez ensuite *CA*, en *D*, en sorte que *AD*, soit égal à *BA*, moitié de *AC*, c'est sans difficulté que la Poussée de *AB*, estant égale à la resistance que luy fait *DA*, la Platebande ne pourra pas pousser le mur *GD*, audelà de l'essieu *GA*; Ainsi *AD*, déterminera l'épaisseur de la Culée, des Pieds-droits, ou des murs qui doivent supporter l'effort de la Platebande, qu'on employe

plûtôt dans les Bâtimens civils, pour supporter des Plafonds, des Galleries, ou d'autres passages au travers d'une cour, & dans des Eglises pour servir de Tribunes, &c. qu'à des Ponts. On en voit une tres belle dans l'Eglise des Reverends Peres Jesuites à Nismes, faite sous la conduite de feu le Reverend Pere Mourgues, & du Dessein de feu Sieur Cubisol, habile Architecte, à laquelle il a donné beaucoup moins de hauteur *B E*, qu'on n'en donne ici, soit parce qu'il estoit assuré de la force des pierres, soit parce que la coupe avoit esté bien suivie. Comme son dessein est tout à fait hardi ; je vay le rapporter.

La Platebande en question *A C*, a quatre toises, deux pieds, six pouces de longueur. Les Clavaux ont un pied d'épaisseur. La hauteur de leur coupe *B E*, est de deux pieds vers la Clef. A chaque bout *A G*, *C H*, ils commencent par deux pieds quatre pouces. Cette Platebande avoit de relevée ou de bombement, quand on posa les Clavaux sur les Ceintres environ six à sept pouces à l'endroit de *B*. Elle descendit de près de trois pouces après qu'on en eut ôté le Ceintre ou son étayement. De maniere qu'elle bombe aujourd'hui d'environ quatre pouces audessus de *B*; les joints se serrerent à mesure qu'on la deceintra, ce qui la fit descendre d'environ les trois pouces en question.

La pratique dans les Platebandes, & la connoissance qu'on a de la force des pierres qu'on employe plus ou moins solides & dures, font que la hauteur *B E*. peut estre plus ou moins grande. Et en cela nous n'avons encore trouvé aucune Regle dans les Méchaniques qui puisse le déterminer, faute d'experiences. C'est à la prudence de l'habile Architecte à en décider ; s'il réussit, tout le monde l'estime & l'admire ; si son ouvrage écroule on le méprise & on en rit.

Voici cependant surquoi on pourroit tabler des Regles pour la force ou la consistance des pierres, par

diverses épreuves qu'on en pourroit faire. C'est la seule ressource qui me reste pour connoître au vray la consistance de tous ces corps plus ou moins solides, qui different les uns des autres par rapport aux divers Climats & à la differente qualité des grains plus ou moins solides dont ils sont composez, afin d'en disposer pour soutenir l'effort des Platebandes, & des plus grandes Arches où on les employera. C'est qu'ayant calculé l'effort ou la pesanteur de tous les corps que les Clavaux dans les Platebandes, ou bien les Voussoirs dans les Arches & Arceaux, doivent supporter par rapport aux Projets ausquels on les employe; on peut en examiner leur effort & leur contiguité en prenant un échantillon d'un pouce cube de pierre en tout sens, & en forme de Dez, qu'on veut employer à un Ouvrage qu'on se propose, & le chargeant d'une certaine quantité de poids jusqu'à ce qu'il écrase sous le tas de sa charge, on puisse dresser une Regle de proportion; en sorte que si le Dez en question a supporté un fardeau de mille ou deux millions de fois, &c. plus grand que son volume, on ne prenne seulement que le quart de la resistance à laquelle il aura esté employé pour former les Projets des Ouvrages que l'on se sera proposé, soit pour les Piles des Ponts, qui doivent supporter les plus grands fardeaux, soit pour les Voussoirs dans les voutes & dans les Arches, qui sont les parties de ces Ouvrages qui font les plus grands efforts, comme les Clavaux dans les Platebandes, soit pour supporter des Tours, des Clochers, &c. Les trois quarts de la resistance de ces corps, je les compense avec la mal-façon de l'Ouvrier dans ces Ouvrages, & qu'il n'est pas permis à l'Homme de les unir si bien dans les lieux où il les employe, comme la Nature les avoit arrangez dans les bancs des Carrieres d'où on les tire. Les joints mal taillez remplis de mortier & de calles qui ne portent pas partout également, qui cedent sous le poids de la charge, sont cause

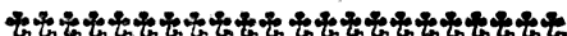
que

que les Bâtimens éclatent chaque jour par la difference de leur liaison, qui portent plus solidement en un endroit qu'en un autre, qui fassent & forment des lezardes tres desagreables & tres nuisibles à l'Ouvrage.

Les Clavaux entre *B.* & *C.* de la Platebande, Planche 2, Figure 4, sont faits à redans, qu'on dispose encore d'autre maniere. Il y en a qui les estiment mieux ainsi que tout unis, comme sont ceux qui sont entre *B.* & *A*, autre façon qui dépend encore du génie de l'Architecte, pour lesquels il y a divers sentimens. Plus il y a de la façon dans la coupe, disent les uns, plus il y a de la difficulté, & par consequent sujets à plus de défectuosité. Et plus les choses sont simples & unies, & sans composition, plus elles ont de la resistance, & sont taillées plus justes, comme sont les Clavaux entre *A* & *B*, sans retour.

Ce que je propose ici pour connoistre l'effort que peuvent faire les materiaux plus ou moins solides à supporter plus ou moins les plus grands poids dont on les chargera, a le même rapport à ce que Messieurs de l'Academie Royale des Sciences racontent de la corde tortillée, composée de 20 brins ou de 20 fils. Chacun de ses fils estant separez portent une livre sans rompre; mais ces fils joints ensemble & entortillez, reduits en corde, ne sçauroient supporter les vingt livres. La corde rompt au poids de 16 à 18 livres. C'est qu'il n'est pas possible que l'Art ajuste si bien tous les 20 fils ensemble en les entortillant, pour qu'ils puissent porter également chacun son poids d'une livre. De sorte que les uns en portant plus, & les autres moins, la proportion entre tous n'estant pas égale, il faut que le tout soit inégal, & ne puisse pas porter les 20 livres pesans en question. De même aussi un Dez de pierre d'un pouce cube supportant un cent pesant, dix autres Dez semblables joints ensemble ne supporteront pas un millier pesant, parce que le corps d'un millier dont on les chargera, ne portera pas par-

tout également sur tous les dix Dez, & ainsi les uns estant plus chargez que les autres, les premiers écraseront sous le tas, & les autres de suite ; ce qui est la cause des éclats des pierres des Voussoirs, & de tous autres corps qui ne sont pas chargez partout également sur les Plans de leurs superficies, ou de leurs lits.



CHAPITRE III.

Quelle doit estre la largeur des Piles, par rapport à l'ouverture des Arches & Arceaux ; & des poids dont on les charge.

LA largeur des Piles doit estre déterminée précisément à la naissance des Arches. Personne n'a donné encore aucune Regle certaine là-dessus. Je vais rapporter ce que les plus habiles Architectes nous ont dit sur ce fait.

Leon Baptiste Albert veut que les Piles à un Pont, doivent estre pareilles en nombre & en grandeur. Leur largeur doit estre le tiers de celle de l'ouverture de l'Arche.

Palladio dit que les Piles doivent estre en nombre pair, afin qu'il y ait une Arche au milieu, où est ordinairement le plus grand courant de l'eau. les Piles ne doivent pas avoir moins en grosseur d'une sixiéme partie, ni ordinairement plus d'un quart de la largeur de l'Arche. Aprés cela Palladio rapporte quelques exemples des Ponts antiques, & dit que celles du Pont antique de Rimini sont de onze pieds, & les Arches de 25 d'ouverture, qu'au Pont qui est sur la Bachiglione, qui est aussi antique, les Piles ont cinq pieds, & les Arches 30 d'ouverture. Le Pont sur la Rerone a les Piles aussi de cinq pieds qui supportent une Arche de 29 pieds d'ouverture,

Palladio donne ensuite un Projet de Pont, où il a fait les Piles de deux toises de large, qui doivent supporter une Arche de dix toises d'ouverture.

Serlio dit que les Piles du Pont Sixte à Rome ont le tiers de la largeur des grandes Arches. Que les Piles du Pont Saint-Ange, autrefois Pont Adrien, sont de la moitié de la largeur de la grande Arche qui est à plein ceintre. Qu'au Pont de Quatro-Capi, Tarpejus, ou anciennement Fabricius, les Piles sont aussi de la moitié de la largeur des Arches à plein ceintre : Et enfin qu'au Pont Milvius, à present Ponte-Mole, les Piles y sont aussi de la moitié de la largeur des Arches.

M. Blondel fait les Piles de son Pont de Xaintes comme 3 à 8, par rapport à l'ouverture des Arches.

Les Piles du Pont antique du Gard ont deux toises de large, elles supportent trois Arcades, dont les deux d'en bas sont de 16 toises d'ouverture sur une hauteur de prés de 25 toises, qui est un poids immense sur un si petit espace de deux toises. On assure que les Tours de Nôtre-Dame de Paris n'ont que 32 toises de hauteur, si cela est elles ne seroient élevées audessus du Pont du Gard que d'environ sept toises.

Les Piles du Pont-Neuf à Paris n'ont que 15 pieds de large, ou environ pour la maîtresse Arche.

Celles du Pont Royal des Thuilleries n'ont que deux toises un pied six pouces ou environ, & supportent une Arche de 12 toises d'ouverture dans celle du milieu.

Celles du Pont-Neuf de Toulouse ont quatre toises de large ou environ, & supportent des Arches de 15 à 16 toises d'ouverture, ou environ.

Tant de varieté dans tous ces ouvrages, nous doivent faire penser que leurs Auteurs n'ont encore observé aucune Regle generale ni certaine, qui soit fondée sur des principes démontrez pour établir les Piles des Ponts. Cependant on peut tirer de tous des modeles pour nous servir dans l'occasion ; & il n'y a pas de doute que les ha-

biles Architectes qui ont conduit tous ces Ouvrages, n'ayent raisonné dans tous les Projets des Piles avant leurs constructions. Et pour déterminer enfin la difficulté, & la réduire, on doit raisonnablement le penser ainsi en leur faveur. Je ne doute nullement qu'une Pile de deux toises de large toute construite de gros blots de pierre de taille, comme est celle du Pont antique du Gard, qui porte plus de poids qu'aucun autre qui soit peutestre dans l'Univers, ne suffise pour supporter plûtost l'effort d'une Arche de 20 toises d'ouverture, que ne fera une autre Pile de quatre toises de large une Arche de 10, & qui ne sera construite que de pierre de taille pour parement, & le dedans du corps de l'Ouvrage de simple limosinage, ou de moilons, celle-ci effondrera plûtost que la premiere, elle tassera sous la pesanteur de la charge, & la derniere sera inébranlable. C'est sur ces principes, & sur l'emploi des materiaux plus ou moins solides, & differemment arrangez, qu'on doit faire attention, & déterminer plus ou moins grande la largeur des Piles dans toutes sortes de Ponts.

Les mêmes materiaux employez en differens Pays, qui ont de consistance les uns plus que les autres, dont on s'est servi pour bâtir des Portes de Villes, des Fortifications, des Tours, des Clochers, des Ponts, des Eglises, &c. peuvent estre examinez afin d'en tirer l'avantage qu'on souhaite pour projetter un Pont plus ou moins grand dans ces lieux. Et quoique par tous ces exemples je me sois fait une Regle pour déterminer les Piles dans toutes sortes de Ponts suivant la Table ci-aprés, qui est un cinquiéme dans une Arche de dix toises d'ouverture; on pourra donner plus ou moins de largeur aux Piles par rapport à la solidité plus ou moins forte des materiaux qu'on y employera. Avec cette remarque que si le Lit de la Riviere est fort spacieux, on peut leur donner davantage de largeur, parce qu'on ne craint pas alors de resserrer les eaux dans le temps des inondations,

& au contraire dans les Lits de Rivieres qui sont trop resserrées & encaissées, il est tres important de ne donner aux Piles des Ponts qu'on y construit que le moins de largeur qui se pourra, pour pouvoir supporter sans crainte la charge des Arches : Surtout quand on y est ainsi contraint par la disposition peu favorable des lieux.

Pour construire la Table que je donne ci-aprés, j'ay observé cette proportion d'un cinquiéme de largeur aux Piles par rapport à l'ouverture des Arches, depuis celles de 20 pieds d'ouverture audessus, & de celles qui sont audessous jusqu'à un Arceau de trois pieds d'ouverture, & même d'un pied. On trouve dans la Table que la Pile doit avoir un pied dix pouces de large pour celui de trois pieds, & un pied six pouces pour celui d'un pied d'ouverture qu'on peut pratiquer pour quelque égoût, ou pour quelque conduite d'eau peu considerable, lesquelles Piles on peut faire toutes de pierre de taille, quand par la mauvaise situation du lieu on y sera obligé. Et tout cela est proportionné non seulement à la masse de maçonnerie que doivent supporter les Piles, mais encore aux voitures qui doivent y passer dessus.

Comme on ne peut connoistre la solidité des materiaux qu'en en faisant des épreuves, afin de sçavoir jusqu'où peut aller leur effort & la pesanteur dont on les chargera, on en pourra faire des experiences comme on a rapporté au Chapitre precedent, sur lesquelles on tablera, puisqu'il n'y a aucune regle qui détermine au juste la largeur des Piles plûtost d'une maniere que d'une autre. La Table que je donne de la largeur des Piles à toutes sortes d'Arches jusqu'à celle de 20 toises d'ouverture, est proportionnée autant qu'il m'a esté possible sur tout ce qui a esté fait jusqu'ici, que j'ay trouvé propre à faire des observations sur cette matiere.



CHAPITRE IV.

Quelle doit estre la portée des Voussoirs depuis leur intradosse à leur extradosse, à toute sorte de grandeur d'Arche & d'Arceau à l'endroit de la Clef.

VOICI ce que rapportent les plus habiles Architectes qui ont écrit sur cette matiere.

M. Blondel prétend que l'on n'a pas à Paris de la pierre aussi solide comme les Romains ont en Italie pour bâtir des Ponts. Que c'est pour suppléer à ce défaut qu'on a fait aux Pont-Neuf & des Thuilleries des Voussoirs sans fin & rallongez, & même encore assurez par des retours & des assises à crossettes pour faire infiniment plus de liaison & de retenuë: Au lieu que dans les Ponts antiques extradossez on voit une hardiesse qu'on ne trouve pas dans ceux des Modernes, qui ont beaucoup plus d'épaisseur dans les Arches à l'endroit de la Clef.

Le Pont de Toulouse peut estre mis sans difficulté en parallele avec les plus beaux Ponts de l'Europe. Il n'est cependant bâti que de briques. Seulement aux angles, aux têtes des Arches, & à quelques chaînes dans l'intradosse on y a employé des pierres de taille qui ne sont certainement que la principale partie de ses ornemens; & l'on peut dire que quoique les Arches qui ont environ 16 & tant de toises d'ouverture, ne sont faites cependant qu'avec de la brique, assises en coupe suivant la portée que pourroient faire des Voussoirs, ou pendans. De maniere que cette disposition ainsi bien établie, jointe au bon mortier qu'on y a employé, & qui en fait la liaison, forme un Ouvrage qui ressemble estre tout d'une piece, quoique composé de fort petits materiaux. C'est pourquoi l'arrangement joint à la solidité de ces mêmes materiaux, en fait toute la bonté.

Leon Baptiste Albert dit que la hauteur du bandeau des Arches dans les Ponts considerables, qui est ce que nous appellons les Voussoirs ou leur portée depuis l'intradosse à leur extradosse, quand on les détermine ainsi dans des Arches extradossées, ne doit jamais estre moindre d'un quinziéme de la largeur de l'ouverture des Arches qu'elles forment. C'est sur cela que j'ay établi la colomne des Voussoirs dans la Table, en supposant la maçonnerie toute faite avec de gros blots de pierre de taille tres dure. Et c'est sur ces mêmes principes que les Voussoirs du Pont antique du Gard sont faits. Cependant je ne laisse pas par une autre colomne de déterminer les mêmes Voussoirs lorsqu'on n'a que des Pierres tendres ou molles à employer.

Palladio dit en fait des Voussoirs que les Arcs des Ponts doivent estre faits de pierres fort longues & bien jointes; ainsi il ne détermine pas leur longueur parlant du Pont de Rimini, dont les Arches sont à plein ceintre, les Voussoirs ou le bandeau à un dixiéme de l'ouverture des Arches qui ont 25 pieds de diametre.

Dans celui de la Bachiglione dont les Arches sont surbaissées, celle du milieu de 30 pieds d'ouverture, la hauteur de son bandeau est d'un douziéme de son diametre, & l'espace audessus de la Clef de la grande Arche, qui est entre le bandeau & la corniche, est égale à la moitié du bandeau.

Dans le Pont antique de la Rerone, comme les deux qui precedent sur une Arche de 29 pieds d'ouverture, le bandeau a la même proportion que le precedent.

Dans un dessein particulier que donne Palladio d'un tres beau Pont qu'il a projetté, dont la grande Arche a 10 toises de diametre surbaissée, ne fait le bandeau ou la longueur des Voussoirs que d'un dixseptiéme de la largeur de la grande Arche, & un quatorziéme de celles des petites qui sont de huit toises d'ouverture.

Voici ce que nous rapporte Serlio; dans le Pont Pa-

latin à Rome, anciennement Senatorius, il a remarqué que le bandeau de l'Arc dans sa plus grande hauteur est un douziéme de la largeur de l'Arche.

Qu'au Pont de Quatro-Capi anciennement Fabricius, dont il ne reste que deux Arches antiques, le bandeau des Arcs qui est de façon rustique, & dont un Voussoir est plus allongé l'un que l'autre alternativement, celui qui a plus de portée est d'un dixiéme de la largeur de l'Arche.

Le Pont Milvius a son bandeau en saillie en forme de plinte toute unie, & dont la hauteur est un dixiéme du diametre de l'Arche. C'est là tout ce que nous ont laissé les plus habiles Architectes en fait de proportions des Voussoirs.

Table de proportion de toutes les parties principales des Ponts & Ponceaux à plein ceintre, depuis un Arceau d'un pied d'ouverture, jusqu'à une Arche de 20 toises ou de 120 pieds, de leurs differentes Culées, de leurs Piles, & des Voussoirs.

Ouverture des Arches.	Culées.	Piles.	Voussoirs de pierres dures.	Voussoirs depierres tendres.
Pieds.	Pié.Pou.Li.	Pié Pou.Li.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.
1	2....6....6..	1....6....0.	1....0....6.	1....6....0.
2	2....9....0..	1....8....0.	1....1....0.	1....7....2.
3	2....11..6..	1....10..0.	1....1....6.	1....8....4.
4	3....2....0..	2....0....0.	1....2....0.	1....9....6.
5	3....4....6..	2....2. ..0.	1....2....6.	1....10..8.
6	3....7....0..	2....4....0.	1....3....0.	2....0....0.
7	3....9....6..	2....6....0.	1....3....6.	2....0....8.
8	4....0....0..	2....8....0.	1....4....0.	2....1....6.
9	4 ...2....6..	2....10..0.	1....4....6.	2....2....3.
10	4....5....0..	3....0....0.	1....5....0.	2....3....0.

Ouverture des Arches.	Culées.	Piles.	Voussoirs de pierres dures.	Voussoirs de pierres tendres.
Pieds.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.
11	4....6....9..	3....1....3..	1....5....6..	2....4....0.
12	4....8....6..	3....2....6..	1....6....0..	2....4....6.
13	4....9....9..	3....3....9..	1....6....6..	2....5....0.
14	5....0....0..	3....5....0..	1....7....0..	2....6....0.
15	5....1....9..	3....6....3..	1....7....6..	2....6....9.
16	5....3....6..	3....7....6..	1....8....0..	2....7....0.
17	5....5....3..	3....8....9..	1....8....6..	2....8....0.
18	5....6....0..	3....9....0..	1....9....0..	2....9....0.
19	5....7....9..	3....10..3..	1....9....6..	2....9....3.
20	5....10..0..	4....0....0..	1....10..0..	2....9....6.
21	6....0..11..	4....2....5..	1....10..6..	2....9....9.
22	6....4....0..	4....5....0..	1....11..0..	2....10..0.
23	6....6....6..	4....7....0..	1....11..6..	2....10..3.
24	6....9....7..	4....9....7..	2....0....0..	2....10..6.
25	7....0....6..	5....0....0..	2....0....6..	2....10..9.
26	7....3....5..	5....2....5..	2....1....0..	2....11..0.
27	7....6....6..	5....5....0..	2....1....6..	2....11..3.
28	7....9....0..	5....7....0..	2....2....0..	2....11..6.
29	7....11..7..	5....4....7..	2....2....6..	2....11..9.
30	8....3....0..	6....0....0..	2....3....0..	3....0....0.
31	8....5..11..	6....2....5..	2....3....6..	3....0..10.
32	8....9....0..	6....5....0..	2....4....0..	3....1....8.
33	8....11..0..	6....7....0..	2....4....6..	3....2....6.
34	9....2....7..	6....9....7..	2....5....0..	3....3....0.
35	9....5....6..	7....0....0..	2....5....6..	3....3..10.
36	9....6....6..	7....2....6..	2....4....0..	3....4....0.
37	9....9....6..	7....5....0..	2....4....6..	3....4....6.
38	10..0....0..	7....7....0..	2....5....0..	3....5....0.
39	10..3....1..	7....9....7..	2....5....6..	3....5....6.
40	10..8....0..	8....0....0..	2....8....0..	3....8....0.
41	10..11..3..	8....2....5..	2....8..10..	3....8..10.

Ouverture des Arches.	Culées.	Piles.	Voussoirs de pierres dures.	Voussoirs de pierres tendres.
Pieds.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.	Pié. Pou. Li.
42	11...2..8..	8.....5...0..	2...9...8.	3...9...8.
43	11....5..6..	8.....7...0..	2...10.6.	3..10...6.
44	11....8.11.	8.....9...7..	2...11.4.	3..11..4.
45	11....0..0..	9.....0...0..	3...0...0.	4...0...0.
46	12....3..3..	9.....2...5..	3...0.10.	4...0..10
47	12....6..8..	9.....5...0..	3...1...8.	4...1...8.
48	12....10.0.	9.....7...0..	3...2...6.	4...2...6.
49	13....0.11.	9.....9...7..	3...3...4.	4...3...0.
50	13....4..0..	10...0...0..	3...4...0.	4..3..10.
51	13...7..3..	10...2...5..	3...4.10.	4...4...8.
52	13....10.8.	10...5...0..	3...5...8.	4...5...6.
53	14....1..6..	10...7...0..	3...6...6.	4..6...4.
54	14....4.11.	10...9...7..	3...7...4.	4...7...2.
55	14....8..0..	11...0...0..	3...8...0.	4..8...0.
56	14....11.3.	11...2...5..	3...8.10.	4..8..10
57	15....2..8..	11...5...0..	3...9...8.	4...9...7.
58	15....5..6..	11...7...0..	3..10..6.	4...10.3.
59	15....8..11	11...9...7..	3..11..4.	4...11.2.
60	16....0..0..	12...0...0..	4...0...0.	5...0...0.
61	16....3..3..	12...2...5..	4...0.10.	5...0..10
62	16....6..8..	12...5...0..	4...1...8.	5...1...8.
63	16....9..6..	12...7...0..	4...2...6.	5...2...6.
64	17....0.11.	12...9...7..	4...3...4.	5...3...0.
65	17....4..0..	13...0...0..	4...4...0.	5...3..10
66	17....7..3..	13...2...5..	4...4.10.	5...4...8.
67	17....10.8.	13...5...0..	4...5...8.	5...5...6.
68	18....1..6..	13...7...0..	4...6...6.	5...6...4.
69	18...3.11..	13...9...7..	4...5...4.	5...7...2.
70	18...6...0..	14...0...0..	4...6...0.	5...8...0.
71	18...11.3..	14...2...5..	4...8.10.	5...8..10
72	19...3...8..	14...5...0..	4...9...8.	5...9...7.

Ouverture des Arches.	Culées.	Piles.	Voussoirs de pierres dures.	Voussoirs de pierres tendres.
Pieds.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.
73	19...5...6.	14...7...0.	4...10..6.	5....10....3.
74	19..8..11.	14...9...7.	4..11...4.	5....11....2.
75	20..0..0..	15....0...0.	5...0..0..	6....0....0..
76	20..3..3..	15...2...5.	5...0..10	6....0....10.
77	20..6..8..	15...5...0.	5...1...8.	6....1....8..
78	20..9..6..	15...7...0.	5...2...6.	6....2....6..
79	21..0..11.	15...9...7.	5...3...4.	6....3....0..
80	21..4...0.	16...0....0.	5...4...0.	6....3...10..
81	21..7...3.	16...2...5.	5...4.10.	6....4....8..
82	21..10..8.	16...5...0.	5...5...8.	6....5....6..
83	22..1...6.	16...7...0.	5...6...6.	6....6....4..
84	22..4.11.	16...9...7.	5...7...4.	6....7....2..
85	22..8...0.	17...0...0.	5...8...0.	6....8....0..
86	22..11.3.	17...2...5.	5...8.10.	6.....8..10.
87	23..2...8.	17...5...0.	5...9...8.	6....9....7..
88	23..5...0.	17...7...0.	5..10..6.	6....10...3.
89	23..8..11.	17...9...7.	5..11...4.	6....11...2.
90	24...0...0.	18...0...0.	6...0...0.	7....0.....0.
91	24..3...3.	18...2...5.	6...0..10.	7....0....10.
92	24..6...8.	18...5...0.	6...1...8.	7....1....8..
93	24..9...6.	18...7...0.	6...2...6.	7....2.....6..
94	25..0.11.	18...9...7.	6...3...4.	7....3....0..
95	25..4...0.	19...0...0.	6...4...0.	7....3...10.
96	25..7...3.	19...2...5.	6...4..10.	6....4....8..
97	25..10.8.	19...5...0.	6...5...8.	7....5....6..
98	26..1...6.	19...7...0.	6...6...6.	7....6....4..
99	26..4.11.	19...9...7.	6...7...4.	7....7....2..
100	26..8...0.	20...0...0.	6...8...0.	7....8....0..
101	26..11..3.	20..2...5.	6...8.10.	7....8...10.
102	27..2...8.	20...5...0.	6...9...8.	7....9....7..
103	27..5...6.	20..7...0.	6...10.6.	7....10..3..

Ouverture des Arches.	Culées.	Piles.	Voussoirs de pierre dures.	Voussoirs depierres tendres.
Pieds.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou.Li.	Pié.Pou Li.
104	27...8...11.	20..9.7.	6..11..4..	7....11...2..
105	28...0...0.	21..0..0.	7..0...0...	8....0....0..
106	28...3...3.	21..2.5..	7..0..10..	8....0...10..
107	28...6...8.	21..5..0.	7..1...8..	8....1....8...
108	28...9...6.	21..7..0.	7..2..6...	8....2....6...
109	29...0..11.	21..9..7.	7..3...4..	8....3....0...
110	29...4...0.	22..0..0.	7..4...0..	8....3....10..
111	29...7...3.	22..2..5.	7..4.10..	8....4....8...
112	29..10..8.	22..5..0.	7..5...8..	8....5....6...
113	30...1...6.	22..7..0.	7..6...6..	8....6....4...
114	30...4..11.	22..9..7.	7..7...4..	8....7....2...
115	30...8...0.	23..0..0.	7..8...0..	8....8....0...
116	30...11..8.	23..2..5.	7..8..10..	8....8...10..
117	31...2...8.	23..5..0.	7..9...8..	8....9.... 7..
118	31...5...6.	23..7..0.	7...10..6..	8....10...3 ..
119	31...8..11.	23..9..7.	7...11..4..	8....11...2 ..
120	32...0...0.	24..0..0.	8..0....0..	9....0....0..

Cette Table resout la question du present Chapitre, & fait voir la longueur des Voussoirs depuis leur intradosse à leur extradosse sur une proportion qu'on a tirée des Auteurs, & des Ouvrages antiques, que l'on ne peut réduire dans des justes Regles de Geometrie pour la démontrer, & que l'on n'a tablé que sur l'experience de la solidité des pierres plus ou moins dures ou compactes sur lesquelles roule toute la Question. Ainsi la Physique y a plus de part que la Méchanique, ni que les Démonstrations geometriques.

EXPERIENCE.

Pour estre plus sûr de toutes ces idées que je viens de

donner au sujet de la Poussée des Arches, des voutes, & de la portée des Voussoirs, j'ay voulu me convaincre par une experience.

J'ay supposé en petit une demi-Arche de dix certaines mesures de diametre, & à plein ceintre suivant la Table ci-devant. J'ay composé les Voussoirs extradossez au nombre de neuf dans la demi Arche en question. Voyez la Figure cinquiéme *A B, C D*, Planche deuxiéme que j'ay fait faire en bois, & que j'ay appuyée contre un mur en *A B E*, comme contre une Clef inébranlable, surtout aprés avoir établi auparavant le demi ceintre *BCE*, que j'ay rempli de plusieurs corps pour en former l'Epure.

J'ay ensuite posé sur ce demi ceintre *B C*, les neuf Voussoirs *C B*, cela estant fait j'ay chargé leur extradosse d'autres pieces de bois de pareil volume, & de pareille matiere à celles des Voussoirs, & par consequent d'un poids égal & uniforme. J'en ay rangé neuf les uns sur les autres suivant la disposition de la même Figure en *F G*, & derriere ceux-ci j'ay encore rangé les quatre aprés *H I*, aprés quoy j'ay déceintré la demi-Arche *E B C*, & elle a resté dans la situation qu'on la voit dans la figure sans s'ébranler. J'ay ensuite ôté les pieces de bois qui forment la Culée & qui assurent les reins de la demi-Arche en commençant par le haut, l'une aprés l'autre suivant les nombres 9, 8, 7, 6, 5, 13, 4, 12, & 3, en sorte que ne m'en restant plus que les quatre audessous nombre 1, 2, 10 & 11, la demi-Arche a resté ainsi en l'air sans tomber; mais d'abord que j'ay voulu ôter la onziéme, pour lors les Voussoirs ont écroulé.

Cette experience m'a fait connoistre, 1°, Que le garni de maçonnerie dont on charge les reins des voutes ou leur retombée, leur sert d'appui, & que c'est là leur plus grande Poussée pour tenir en raison & en équilibre tous les Voussoirs, afin qu'ils ne s'écartent pas de la ligne courbe qui forme leur ceintre.

2°, Cette experience ayant esté faite avec des materiaux de bois, & par consequent fort legers, sans rien qui liât leurs joints, ils n'ont pas laissé que de se soutenir seuls par le moyen de leur coupe, dont j'avois tracé le panneau au Menuisier pour s'y conformer.

3°, Cette experience me confirme que plusieurs Ponts des Anciens que j'ay vû, ayant esté faits avec des Voussoirs extradossez sans mortier & sans ciment dans leurs joints, & sans crampons ; quant à leur imitation on les poseroit de même, & qu'on y couleroit ensuite à leur entre-deux par le moyen de differens abreuvoirs, de ciment ou de mortier fin fait avec de la recoupe des pierres bien battuës & mises en poudre, si elles estoient propres, on feroit des Ouvrages infiniment plus solides, qui ne tasseroient pas sur des couches de mortier qui cedent aux poids immenses des pierres dont on les charge, de même que les calles, les coins de bois & autres vilaines choses dont on garnit les lits aux extradosses des Voussoirs de fausse coupe, & en en faisant mettre d'autres à la place qui suivent au juste le trait de l'Epure & de la coupe, & portent également partout sur leurs lits. C'est ce qui prouve combien est dangereuse la négligence de ceux qui entreprennent ces Ouvrages, & qui les construisent avec ces mal-façons qu'on ne reconnoist pas dans les Antiques.

4°, Et enfin dans la presente Figure ayant élevé du point de la naissance du demi ceintre l'essieu *C K*, j'ay trouvé que les Voussoirs *B C*, dans tout ce qui les partage par la ligne *C K*, qui en doit faire l'équilibre, ils n'ont écroulé que lorsque j'ay rendu la partie de la Culée *C H*, moins pesante que la partie de la demi-Arche *C B*, qui porte à faux dans les Voussoirs, ce qui confirme ce que j'ay avancé ci-devant dans les preuves que j'en ay données, en sorte que les Voussoirs avec les materiaux dont on les charge doivent estre en équilibre avec la Culée qu'on y oppose pour leur resister, autre-

ment il faut que l'Ouvrage écroule. La Table a esté composée à ces fins pour éviter les Operations de Geometrie à ceux qui ne les sçavent pas.



CHAPITRE V.

Quelle est de toutes les Arches & Arceaux fixez sur un même diametre qui pourra porter des plus grands fardeaux, & à quelle proportion les uns & les autres détermineront au juste leurs efforts, ou celles de l'ellipse à quelque surbaissement qu'on veuille la réduire ou celle à plein ceintre, ou enfin celle à Tiers-point, ou Gothique.

SI l'on veut faire attention à ce que j'ay rapporté dans le Chapitre deuxiéme, on conviendra aisément que les Poussées de toutes les Arches à divers surbaissemens, sont aux poids dont on les charge comme leurs differentes inclinaisons aux largeurs des Culées qu'on y oppose pour leur resister, on trouvera que celles qui ont leurs Poussées moins inclinées seront capables de supporter des plus grands fardeaux, plus que celles qui approchent le plus de la Platebande, qui est celle de toutes les Figures la plus forcée & la plus rampante, ou plûtost de niveau.

Supposons la Platebande *C A*, Figure quatriéme, Planche deuxiéme, estre une poutre transportée en *AC*, Figure neuviéme, il est certain que dans cette disposition si on la charge d'un poids de 100 livres pesant, & qu'elle vienne à casser si on l'éleve à plomb en *A B*, elle portera sans rompre non seulement les 100 livres pesant, mais encore tout autre poids infiniment audelà.

Je suppose ici que c'est le double, c'est àdire 200, pour lors si je prends la difference de ces deux Poussées qui

est 150, je trouverai que la poutre élevée de 45 degrez en *A D*, supportera cette charge pour former une Arche à plein ceintre. Que si on l'abaisse jusqu'en *A F*, pour former une ellipse, on trouvera que si on prend la moyenne puissance entre le plein ceintre *A D*, & la Platebande *A C*, qui est *A F*, l'ellipse *A F*, ne pourra porter que la charge de 125, & par la même proportion l'élevation de l'Arche Gothique *A E*, sera déterminée par la puissance moyenne de *A D*, Arche à plein ceintre de 150, & de *A B*, 200, qui donnera 175 degrez de force; & ainsi de toutes les autres portées des Arches, à quelques surbaissemens qu'on les détermine, seront capables de supporter des plus grands fardeaux plus on les élevera. Au contraire plus leur plan d'inclinaison approchera de la Platebande, moins ils seront capables d'estre chargez, ce qu'on peut déterminer jusqu'à la moindre précision, quand une fois on sera convenu qu'une poutre ainsi couchée en Platebande *A C*, & élevée à plomb *A B*, sera capable de supporter telle charge qu'on aura determinée par une experience ou autrement.

Par cette Démonstration on conclud facilement que l'Arche Gothique est celle qui est capable de supporter des fardeaux plus pesans que celle à plein ceintre, celle-ci plus que l'ellipse, & enfin cette derniere plus que la Platebande.

Cette Figure neuviéme, Planche deuxiéme, m'a servi à faire une experience pour mesurer la pesanteur de toutes sortes de corps differemment inclinez, comme on le peut voir dans le Paragraphe suivant.

PARAGRAPHE.

De la pesanteur des Corps differemment inclinez, & la maniere de la calculer.

Un corps *A B*, Planche deuxiéme, Figure neuviéme, également uni dans sa longueur & dans sa largeur, & partout

partout d'une égale grosseur, soit rond ou quarré, comme passé dans une filiere, a pesé 100 parties égales sur l'appui *A*, ou sur luy-même, & posé en *A B*, verticalement.

Mais lorsque ce même corps *A B*, a esté posé orizontalement ou de niveau, & soutenu par deux appuis *A* & *C*, également éloignez du milieu, & des extremitez, il n'a pesé sur le premier appui *A*, que 50 parties à cause qu'il a porté autant sur *C* que sur *A*, & partant le nombre de 100 ayant esté partagé par des appuis égaux *A* & *C*, qui en ont porté chacun 50 joints ensemble, ont porté le tout qui est 100.

Lorsque j'ay fait prendre une autre disposition à ce corps *A C*, & que j'ay voulu l'élever sur un angle de 45 degrez en *A D*, j'ay trouvé que pesant en total 100 parties, il n'a pesé sur l'appui *D* que 25 parties, & partant il a dû peser sur l'appui *A* 75 parties, qui jointes avec les 25 font ensemble le nombre de 100 qu'il falloit trouver.

J'ay de plus fait deux autres experiences en disposant le corps *A D*, élevé de 45 degrez, de deux autres manieres differentes en *E* & en *F*, & ayant trouvé qu'élevé de 67 degrez & demi en *E*, il n'a pesé que 12 & demi au point *E*, & élevé en *F* de 22 & demi, il a pesé 37 & demi au point *F*, j'ay conclu que *E A*, élevé de 67 degrez & demi pesant 12 & demi parties en *E*, le corps *A E*, devoit peser sur son appui *A* 87 & demi, & en *F* pesant 37 & demi, il devoit peser sur son appui *A*, 62 parties & demi; & ainsi à proportion en sous-divisant les parties *B E*, *E D*, *D F*, & *F C*. Ce qui ma servi à dresser une Table qui fait voir que le corps *A B*, peso d'autant plus sur son appui *A*, plus on l'éleve audessus de son niveau *A C*, en *F* ou vers *D*, &c. Et au contraire l'appui *A* se trouve d'autant moins chargé, plus le même corps *A B*, quitte son applomb & s'incline ou s'abaisse vers *E D F*, & jusqu'à *C*, & ainsi de même audessous de son niveau *A C*, par une disposition toute

contraire, mais cependant toujours avec la même égalité de raison.

J'ay supposé pour cet effet que le corps *A B*, qui est parfaitement égal dans toutes ses parties, & uniforme dans toutes ses dimensions, pesoit 100 parties égales, & qu'il avoit aussi en longueur 100 parties égales.

Sur ce fondement je n'ay plus trouvé de difficulté pour sçavoir l'effort & la puissance de quelques corps que ce soit, incliné plus ou moins en droite ligne ou courbe; car reduisant les courbes en lignes droites, ou bien supposant les courbes supportées également à leurs extremitez par leurs cordes, & comparant les cordes les unes avec les autres, je resous l'effort & la pesanteur de toutes les voutes, Arches & Arceaux des Ponts de quelques Figures regulieres & irregulieres dont on puisse les former, soit à plein ceintre, en parabole & elliptique, &c. comme je vais démontrer.

On fera auparavant attention à la Table suivante, dans laquelle on verra que la premiere colomne marque les degrez d'inclinaison qu'on trouvera aux corps dont on voudra supputer la pesanteur. On supposera encore au corps une certaine quantité de 100 livres pesant ou de tout autre nombre en pesanteur, par la mesure qu'on en aura faite d'une de ses parties. On déterminera encore l'inclinaison du corps à tant de degrez.

Tout cela estant sçû, pour en venir à la preuve, soit que ce soit une Arche ou tel autre corps incliné dont on veut sçavoir la pesanteur, ou la pression à la Clef; supposons ici la moitié de l'Arche à plein ceintre, Planche premiere, Figure premiere, dont il importe de sçavoir son effort à la Clef *E*, mesurez la pesanteur de la maçonnerie *EHA*, de la demie Arche, si on sçait combien pese un pied cube de la même maçonnerie, on sçaura tout le restant. Supposons que le tout *E H A*, pese 9750 livres, ce qui donnera pour la moitié du poids ci 4875 livres; mais la moitié de la demie Arche est inclinée de 45 de-

grez. Or si dans la Table, 50 dernier terme des colomnes donnent 25 de pesanteur pour 45 degrez d'inclinaison, combien donneront 4875 moitié de la pesanteur de tout le corps ou triangle *A H E*, on trouvera 2437 & demi. De sorte que le corps *E H A*, pesant en total 9750, il pesera à la Clef incliné de 45 degrez 2437 & demi, & ayant distrait du total 9750, l'inclinaison 2437 & demi, on trouvera qu'il ne pesera à la naissance du ceintre pour sa Poussée que 7312 & demi. C'est de cette maniere qu'on peut déterminer au vray jusqu'où les arcsboutans qu'on pose pour soutenir & appuyer des voutes des murs qui bouclent, &c. peuvent porter leurs efforts par leur seul appui de pesanteur.

On tire même des consequences de cette Regle, que la Clef *E*, de l'Arche estant pressée de 2437 & demi degrez de pesanteur d'un côté, & autant de l'autre, il faut que sa solidité soit à l'épreuve du poids de 4874 degrez de pesanteur pour l'employer à un pareil usage. C'est ainsi qu'on peut employer avec utilité cette Regle & cette Table dans toutes sortes de corps, pour sçavoir ce qu'on fait, & pour rendre raison d'une chose qui n'avoit esté pratiquée jusqu'aujourd'hui qu'en tâtonnant, & que des plus habiles que moy pourront encore mieux rediger, & mettre le tout en une meilleure forme, lorsque le corps incliné ne sera pas surtout regulier, & qu'il pesera plus d'un bout que de l'autre.

Table de proportion des pesanteurs & des Poussées des corps reguliers à toutes sortes d'inclinaisons.

Nombre des quantitez qu'on voudra déterminer au corps incliné.

Deg.	liv.	onc.	Deg.	liv.	onc.	Deg.	liv.	onc.	Deg.	liv.	onc.
1	0	8 $\frac{8}{9}$	4	2	$\frac{2}{9}$	7	3	$\frac{8}{9}$	10	5	$\frac{5}{9}$
2	1	$\frac{1}{9}$	5	2	$\frac{7}{9}$	8	4	$\frac{4}{9}$	11	6	$\frac{1}{9}$
3	1	$\frac{6}{8}$	6	3	$\frac{1}{}$	9	5	0	12	6	$\frac{6}{9}$

Deg. liv. onc.	Deg. liv. onc.	Deg. liv. onc.	Deg. liv. onc.
13--7--- $\frac{2}{9}$	32--17-- $\frac{7}{9}$	51--28-- $\frac{3}{9}$	71--39-- $\frac{4}{9}$
14--7--- $\frac{7}{9}$	33--18-- $\frac{3}{9}$	52--28-- $\frac{8}{9}$	72--40--
15--8---- $\frac{3}{9}$	34--18-- $\frac{8}{9}$	53--29-- $\frac{4}{9}$	73--40--- $\frac{5}{9}$
16--8---- $\frac{8}{9}$	35--19-- $\frac{4}{9}$	54--30---	74--41-- $\frac{1}{9}$
17--9--- $\frac{4}{9}$	36--20--	55--30-- $\frac{5}{9}$	75--41-- $\frac{6}{9}$
18--10---	37--20-- $\frac{5}{9}$	56--31-- $\frac{1}{9}$	76--42-- $\frac{2}{9}$
19--10-- $\frac{5}{9}$	38--21-- $\frac{1}{9}$	57--31--- $\frac{6}{9}$	77--42--- $\frac{7}{9}$
20--11-- $\frac{1}{9}$	39--21-- $\frac{6}{9}$	58--32-- $\frac{2}{9}$	78--43--- $\frac{3}{9}$
21--11-- $\frac{6}{9}$	40--22-- $\frac{2}{9}$	59--32-- $\frac{7}{9}$	79--43--- $\frac{8}{9}$
22--12-- $\frac{2}{9}$	41--22-- $\frac{7}{9}$	60--33-- $\frac{3}{9}$	80--44--- $\frac{4}{9}$
23--12-- $\frac{7}{9}$	42--23-- $\frac{3}{9}$	61--33-- $\frac{8}{9}$	81--45---
24--13-- $\frac{3}{9}$	43--23--- $\frac{8}{9}$	62--34-- $\frac{4}{9}$	82--45-- $\frac{5}{9}$
25--13-- $\frac{8}{9}$	44--24--. $\frac{4}{9}$	63--35--	83--46-- $\frac{1}{9}$
26--14-- $\frac{4}{9}$	45--25----	64--35-- $\frac{5}{9}$	84--46-- $\frac{6}{9}$
27--15--	46--25-- $\frac{5}{9}$	65--36-- $\frac{1}{9}$	85--47-- $\frac{2}{9}$
28--15-- $\frac{5}{9}$	47--26-- $\frac{1}{9}$	66--36-- $\frac{6}{9}$	86--47-- $\frac{7}{9}$
29--16-- $\frac{1}{9}$	48--26-- $\frac{6}{9}$	67--37-- $\frac{2}{9}$	87--48-- $\frac{3}{9}$
30--16--- $\frac{6}{9}$	49--27-- $\frac{2}{9}$	68--37-- $\frac{7}{9}$	88--48-- $\frac{8}{9}$
31--17-- $\frac{2}{9}$	50--27-- $\frac{7}{9}$	69--38-- $\frac{3}{9}$	89--49-- $\frac{4}{9}$
		70--38-- $\frac{8}{9}$	90--50.



CHAPITRE VI.

Quel doit estre le Profil des murs de soutenement pour retenir les terres d'une terrasse, d'un rempart &c. à quelque hauteur donnée que ce puisse estre.

Avis qu'on prétend estre de feu M. le Maréchal de Vauban, donné pour modele aux Ingenieurs qui ont servi de son temps & sous sa Direction.

1°, DAns le Pays où la Maçonnerie est fort bonne, on peut fixer l'épaisseur au sommet à quatre pieds & demi, mais dans les lieux où elle ne le sera pas il faudra l'augmenter jusqu'à cinq pieds six pouces, & même plus si elle est fort mauvaise. Voyez Planche troisiéme, Figure premiere.

2°, Que les contreforts aux angles saillans doivent estre redoublez & ébrasez de part & d'autre, par rapport aux lignes droites qui forment ces angles. Idem dans la même Figure.

3°, Qu'ils seront toujours élevez à plomb à l'extremité, & par les côtez, & bien liez au corps de la muraille. Idem.

4°, Que les contreforts seront élevez aussi haut que le cordon. Ils seroient encore meilleurs si on leur donnoit deux pieds de plus pour le soutient du parapet. Idem dans la même Figure.

5°, Que dans les Ouvrages où le revêtement n'est élevé qu'à moitié, ou aux trois quarts du rempart, & le surplus en gazon ou placage, il faudra regler son épaisseur comme s'il devoit estre élevé en maçonnerie jusqu'au sommet du rempart. Par exemple, si on élevoit quinze pieds en gazon audessus du revêtement, il faudroit aug-

menter l'épaisseur au sommet de trois pieds avec cinq qu'elle auroit déja, pour en avoir huit à la naissance du gazon. Voyez le Profil de la Figure deuxiéme *A I.*

6°, Qu'il faut augmenter la grandeur, & la solidité des contreforts à proportion de l'élevation du revêtement. Par exemple, si le revêtement a 35 pieds de haut, sçavoir 20 en revêtement, & 15 en gazon, il faudra y faire les contreforts qui ont esté reglez par le Profil de 35 pieds de haut, & que le revêtement ait la même épaisseur à 20 pieds de haut, comme s'il en avoit 35.

7°, Que dans les endroits où l'on fera des Cavaliers comme à Maubeuge, il faudra augmenter le sommet du Profil d'un demi pied d'épais pour chaque cinq pieds que le Cavalier sera élevé audessus du revêtement, & la solidité des contreforts à proportion, ce qui doit s'entendre du gros revêtement de la place, & non de ceux qu'on fait quelquefois aux Cavaliers, & seulement quand le pied du Cavalier approche de trois à quatre toises du parapet.

8°, Que ces deux dernieres colomnes portent en toises, pieds & pouces cubes, ce que chaque toise courante, [de tous ces differens Profils] en contient, reduction faite des contreforts. Voyez la Table suivante.

9°, Que ces Profils ne sont proposez que pour la maçonnerie qui doit soutenir des grands poids de terre nouvellement remuée, & non pas celle qu'on adosse contre la terre vierge qui ne l'a pas encore esté, comme sont la plûpart des revêtemens de fossez.

Voyez la Planche troisiéme, où la Figure premiere marque le Profil general de la maçonnerie accommodée aux differentes hauteurs des murs, & proportionnée aux poids des terres qu'ils auront à soutenir.

La Figure deuxiéme, Planche deuxiéme, represente le Profil qui sert aux demi-revêtemens.

Et enfin, la Figure troisiéme represente le plan pour les contreforts des angles saillans.

Table pour expliquer les mesures contenues au Profil general de la Maçonnerie, accommodée aux differentes hauteurs des murs proportionnez aux poids des terres qu'ils auront à soutenir, depuis dix jusqu'à 80 pieds de haut, experimentez sur plus de 500000 toises cubes de Maçonnerie, bâties à 150 Places fortifiées sous les ordres & sous le Regne de LOUIS LE GRAND.

Voyez Planche III, Figure premiere.	Hauteur des Profils.	Epaisseur au Sommet.	Epaisseur sur la Retraite.	Distance d'un milieu d'un Contrefort à l'autre.	Distance d'un Contrefort à l'autre.	Longueur des Contreforts.	Epaisseur des Contreforts en racine.	Epaisseur des Contreforts sur la retraite.	Solide de la Maçonnerie, par toises courantes, non compris la fondation, les Contreforts estant de 18 en 18 pieds.	Solide de la Maçonnerie, par toises courantes, non compris la fondation, les Contreforts estant éloignez de 15 en 15 pieds.
	Pi.	Pi.	Pi.	Pi.	Pi.	Pi.	Pi.	pi. po.	T. pi. po. li.	T. pi. po. li.
ABC	10	5	7	18	15	4	3	2 0	2 0 11 1	2 1 1 4
DEF	20	5	9	18	15	6	4	2 8	4 5 0 5	4 5 9 4
GHI	30	5	11	18	15	8	5	3 4	8 3 3 1	8 5 1 4
KLM	40	5	13	18	15	10	6	4 0	13 2 6 2	14 0 2 8
NOP	50	5	15	18	15	12	7	4 8	19 3 8 10	20 4 2 8
QRS	60	5	17	18	15	14	8	5 4	27 1 10 2	29 0 2 8
TVX	70	5	19	18	15	16	9	6 0	36 3 9 4	39 3 4 0
YZ&	80	5	21	18	15	18	10	6 8	47 4 5 4	51 2 8 0

AVIS DE MONSIEUR BULLET.

Voici ce que dit M. Bullet Architecte du Roy, au sujet de la difficulté en question.

Pour les terres des remparts qui poussent sans cesse, personne de ceux qui ont écrit de l'Architecture, dit-il, n'ont encore donné aucune Regle de proportion pour établir une maçonnerie à les soutenir. Que les terres plus elles sont sablonneuses, plus elles poussent, & coulent, parce qu'elles sont plus rondes que les brins de terre ordinaire.

Il est démontré, dit-il, dans les principes de la Statique, qu'un Plan estant incliné comme *C B*, Planche deuxiéme, Figure sixiéme, qui peut estre une Table ou un autre corps uni sur lequel on veut faire tenir une boule comme *D*, il faut pour tenir cette boule sur le corps incliné une force ou puissance qui soit au poids de la Boule comme la hauteur *B A*, est au Plan incliné *B C*, ou comme le côté est à la diagonale d'un quarré, & quoique cette proportion soit incommensurable en nombre, l'on peut neanmoins en approcher. Elle est comme 5 est à 7, il faut donc que la resistance du mur qui sera fait pour arrêter les terres du coin *C B A*, soit au même coin comme 5 est à 7.

Pour resoudre cette question, il faut mesurer la superficie du triangle *A B C*, & pour cela il suppose que chacun de ses côtez *A B*, *A C*, ait six toises, le triangle aura dixhuit toises en superficie, il est question de trouver un nombre à qui 18 soit comme 7 est à 5, qui sera un peu moins que 13, il faut donc que le Profil du mur qui doit arrêter les terres ait treize toises en superficie. Ainsi ce mur opposera une force égale à la Poussée des terres par son poids, quand la maçonnerie ne peseroit en pareil volume que la pesanteur des terres.

Cela estant supposé dans la Figure que l'on doit faire de ce Profil, il faut sçavoir combien on doit donner de talud au mur. Si c'est un mur de rempart, on luy donne

ordinairement un ſixiéme de ſa hauteur, comme ſi le mur *A B*, Planche troiſiéme, Figure ſeptiéme, a ſix toiſes de hauteur, on luy donne une toiſe de talud de *A* en *C*, cela va à deux pouces par pied, cette inclinaiſon *C B*, fait avec la ligne à plomb *A B*, un angle de neuf degrez 27 minutes, 45 ſecondes.

Et pour ſçavoir par cette Regle l'épaiſſeur par le bas d'un mur qui a ſix toiſes de hauteur, il faut reduire en pieds ſuperficiels, tout le triangle des terres qui a 18 toiſes en ſuperficie, lequel on aura en multipliant 18 par 36, il viendra 648 pour le Profil du triangle ſuppoſé. Il faut enſuite trouver un nombre à qui 648 ſoit comme 13 eſt à 18, ce qui ſe peut faire par une Regle de proportion, en mettant au premier terme 13, au deuxiémé 18, & au troiſiéme 648, & il viendra 468 pour la ſuperficie du Profil du mur, leſquels 468 il faut diviſer par 36 pieds de la hauteur dudit mur, & l'on aura 13 pieds pour ſon épaiſſeur s'il eſtoit à plomb; mais comme il a ſix de talud, il les faut diviſer en deux, & ajouter trois pieds aux 13 pieds; & cela fera 16 pieds pour l'épaiſſeur du mur par le bas, & 10 pieds par le haut, en ſorte que toute la hauteur du mur qui eſt 36 pieds ſera à ſon épaiſſeur par le pied comme 36 eſt à 16, & à ſon épaiſſeur par le haut comme 36 eſt à 10, & le Profil du mur ſera au Profil du triangle des terres comme 13 eſt à 18, ainſi qu'il a eſté ſuppoſé.

Comme cette Regle peut ſervir à ſçavoir l'épaiſſeur que doivent avoir les murs des remparts par rapport à la hauteur des terres qu'ils ont à ſoutenir, l'on peut reduire cette propoſition aux moindres termes en prenant la moitié de 36 qui eſt 18, & la moitié de 16 qui eſt 8, pour l'épaiſſeur d'un mur par le bas, & ſi l'on ſuit le même talud, il faudra donner 5 par le haut, car 18, 8 & 5 ſont entr'eux comme 36, 16 & 10, que j'ay ſuppoſé d'abord. Ainſi l'on peut par cette Regle donner les épaiſſeurs de tous les murs des remparts par rapport à leurs hauteurs.

S'il arrive du changement dans cette hypothese, ce ne peut estre que par les differens taluds que l'on peut donner aux murs des remparts ou de la terrasse. J'ay pris le sixiéme pour les murs des remparts, & je croy que le cinquiéme seroit trop, il faut que ce soit la prudence qui decide de cela.

Pour les murs de terrasses quand ils n'ont pas grande hauteur comme jusqu'à 12 pieds, on peut leur donner un neuviéme de talud, & quand ils n'ont que six pieds de haut, c'est assez d'un douziéme, supposé que la construction soit bonne; mais depuis 12 jusqu'à 15 ou 20 de haut, on leur donne un huitiéme, & ainsi du reste à proportion.

Il n'est pas difficile de reduire le Profil des murs par la même Regle suivant les differens taluds qu'on voudra leur donner; car à un mur qui n'aura par exemple que 20 pieds de haut, & auquel on ne donnera qu'un huitiéme de talud, le huitiéme de 20 pieds est 2 pieds & demi, c'est à dire que le mur proposé qui aura 20 pieds de haut, n'aura que 2 pieds & demi de talud. Le triangle de terre au derriere d'un mur qui a 20 pieds de haut aura 200 pieds de Profil, il faut faire un Profil de mur sur le talud à qui 200 soit comme 18 est à 13, & l'on aura 144 deux neuviémes qu'il faut diviser par 20, il viendra 7 $\frac{19}{90}$, c'est à dire un peu plus de sept un cinquiéme, ausquels sept un cinquiéme il faut ajouter un pied & demi, qui est la moitié du talud, & l'on aura 8 neuf vingtiémes, ou à peu près huit pieds & demi pour l'épaisseur du pied du mur, & six pieds pour l'épaisseur par le haut. Par ce moyen l'on aura le Profil du mur suivant la hauteur, & le talud proposé, & ainsi des autres taluds à proportion. Voici quelle est ma pensée sur cette cinquiéme difficulté.

Les terres de differente nature qu'on employe dans les remparts, & aux terrasses, ne poussent & ne renversent les murs qui les soutiennent, que parce qu'elles ont du poids plus que les Ouvrages de maçonnerie qu'on y

opposé pour les arrêter, & les unes & les autres n'ont de puissance plus ou moins, que parce qu'elles sont plus contiguës, & les parties dont elles sont composées, sont plus ou moins serrées, plus ou moins roides ou souples, ou plus ou moins mouvantes.

Pour connoistre les terres dont on peut se servir à tous ces Ouvrages, j'ay examiné autant que j'ay pû la nature des unes & des autres, & j'ay trouvé qu'on pourroit les reduire à trois differentes classes, en celles qui sont du pur sable, en celles qui sont franches & de bonne consistance propres à germer comme sont celles des champs, & des jardins où l'ony seme & où l'on plante des arbres; & enfin en celles qui sont de pure glaise. Les unes & les autres ont differens poids & coulent differemment, par rapport à leurs parties plus ou moins rondes, ou plus ou moins embaraſſantes.

J'ay pris du sable du plus pur qui estoit blanc, de celui qu'on tire de differentes mines sablonnieres autour de Paris, & qu'on dit qu'on employe pour faire des vases de cristaux & des glaces de miroirs. Ce sable desseché & versé pour former un monceau, Figure huitiéme, Planche deuxiéme *G I D*, a formé un talud *I G, I D*, de part & d'autre de trois cinquiémes de hauteur. De maniere que *I L*, estant de trois parties *L G*, estoit de cinq.

J'ay pris ensuite de la terre franche sans estre dessechée, telle que je la sortois du creux avec son humidité ordinaire, que j'ay froissée entre les doigts, pour en séparer les petits graviers qui estoient mêlez ensemble, & l'ayant versée en un tas, Figure huitiéme, Planche deuxiéme, elle a formé le Profil *G I D*, en sorte que les taluds *I G, I D*, se sont trouvez estre conformes à ceux de la diagonale d'un quarré, de maniere que la hauteur *L I*, est égale à celle de leur base *L D*, ou *L G*.

Il m'a paru que ces deux experiences ont dû suffire pour connoistre la difference de toutes les autres terres

qu'on peut employer au remblai des terrasses, & des remparts. Car si on mélange également ces differentes terres de sable pur & de terre franche, on fera une consistance de terrain qui participant de l'un & de l'autre, donnera un talud moyen *ID*, ou *IG*, qui est le même, qui sera les trois quarts de sa hauteur.

Je n'ay point fait d'experience sur la terre glaise, & je ne doute pas que ses parties estant plus souples, & plus embarassantes, elle ne doive avoir beaucoup plus de consistance & pousser moins que les autres, puisqu'elle est plus serrée & mieux liée ; & que les particules de l'eau ne peuvent point la penétrer lorsqu'elle est bien employée à l'usage des Bâtard'eaux &c. Au contraire de la terre franche qui pour si serrée qu'elle soit, l'eau ne laisse pas de la penétrer avec le temps & d'aller corrompre les murs dont on s'est servi pour la soutenir dans les remparts & dans les terrasses, le sable est bien pis, car l'eau le perce & passe à l'instant entre les petits vuides que forment à leur entre-deux les petits grains dont il est composé, à peu prés comme à travers un crible. Ainsi on peut dire de la nature de ces trois terrains qu'ils ne different que du plus & du moins ; & que ceux qui sont plus coulans doivent estre retenus par des Profils de maçonnerie qui ayent plus de consistance. Je vais entreprendre à discuter celui de la terre franche, ou terre moyenne, qui est celle pour l'ordinaire dont on se sert pour former les remparts & les terrasses qui est la plus commune, celle qui couvre la superficie de la terre que le soleil & les pluyes penétrent, & que les plantes par leurs racines parcourent. On pourra par rapport à l'exemple que je vais donner de celle-ci, agir pour les autres en conformité sur le talud plus ou moins grand qu'elles forment quand on les amoncelle, pour connoître par là leur differente Poussée.

Pour expliquer ces sortes de Poussées, il faut emprunter le secours des Méchaniques, & des raisons que les

Auteurs n'ont point encore rapportées, mais que le sens commun fera aisément comprendre.

Il est certain par l'experience que le monceau de terre *GID*, Figure huitiéme, Planche deuxiéme, à ce talud de la Poussée de ses terres de part & d'autre à la diagonale de leur quarré, suivant les pentes *IG*, *ID*, si à une de ses pentes *IG*, comme au point *E*, on forme le triangle *GEH*, proportionnel au grand *GID*, que l'on abaisse la perpendiculaire *EF*, que l'on tire la parallele *FS*, à celle de la pente *GI*, que l'on abaisse encore la perpendiculaire *OH*, & que l'on fasse la parallele *EA*, à celle de la base *GD*, toutes ces lignes formeront divers triangles *GEF*, *FRE*, *REO*, & encore un Rhomboïde *ROIS*, qui ne se soutiendront les uns & les autres dans cet état, que parce que le triangle le plus bas *GEF*, les arrête tous par le pied; car si l'on fait couler sous *GF*, la terre du triangle *GEF*, celle du triangle *FRE*, suivra aprés, & se renversera de même que celle du triangle qui est audessus *ERO*, aussibien que celle du Rhomboï. de *RSIO*, de maniere que par rapport à la pente des terres le monceau se reduira à celle de sa parallele *FS*, qui est audessous. Donc le triangle *GFE*, qui est au bout supporte l'effort & la puissance de tous les autres qui sont audessus, ou bien tout le Rhomboïde *FSIE*, fût-il continué jusqu'au plus haut des Cieux, ou à l'infini si l'on veut, suivant toujours la pente *GI*, & c'est de cette maniere que toutes les pentes des montagnes se soutiennent successivement tant que le bas qui aboutit à des plaines ou à des rivieres n'est pas soutenu par des rochers ou des terrains de consistance qui ont fait corps depuis longtemps, & qui par leur solidité arcboutent & soutiennent les terres mouvantes qui sont audessus.

Suivant ces principes de Méchanique fondez sur des experiences, pensons une hauteur de terre mouvante qu'il faut soutenir à quelque hauteur donnée que ce puisse estre, comme celles qui sont comprises dans le cu-

be *A D B C*, Planche premiere, Figure dixiéme, arrêtées en *B C*, d'un côté, mais mouvantes en *D A*, où il faut opposer un mur pour les arrêter, & le dessus *D B*, doit estre le terreplein du rempart, ou la Plateforme de la terrasse, &c.

Si l'on tire la diagonale *A B*, pour la pente ordinaire du terrain, qu'on la divise en deux également au point *E*, que l'on fasse le quarré *E F D G*, proportionnel au grand *C B D A*, que l'on tire la diagonale *F G*, continuée jusqu'à *H*, que sur celle-ci *F G*, on opere de même également en *O*, qui est le milieu pour former le quarré *O M D I*, que l'on prolonge les diagonales *M I*, jusqu'à la rencontre des bases *G K*, &c. & ainsi de suite à l'infini jusqu'au point *D*, car il se trouvera toujours de nouveaux quarrez proportionnels à faire *in infinitum*, & que l'on tire enfin *D H*, qui déterminera tous les triangles d'appui *A G H*, *G I K*, &c. c'est sans difficulté que les triangles d'appui *A H G*, soutenant les trois qui sont audessus, & qui luy sont égaux & semblables *A G E*, *E G F*, & *E F B*, par la Démonstration precedente, & pareillement le triangle d'appui *GIK*, soutenant les trois autres qui sont audessus, dont chacun d'eux leur est égal, & qui sont compris dans le Trapsoïde *G I M F*, & ainsi de suite jusqu'au point *D*, qui est la hauteur déterminée, il n'y a pas de doute que le triangle d'appui *A H D*, qui contient tous les triangles d'appui *A H G*, *G K I*, &c. ne soutienne par consequent la valeur ou la Poussée de toute la terre comprise dans le triangle *A D B*, ce qu'il falloit démontrer. Mais *A H D*, n'est que moitié du triangle *A D B*, à cause que *A H*, est égale à *D F*, & *F A*, estant parallele & égale à *D H*, & *A D*, commune entre les deux triangles, il s'ensuit que le triangle d'appui *A H D*, est égal au triangle de terre mouvante *A D F*, & celui-ci à l'autre moitié *A F B*. Donc le triangle d'appui *A H D*, estant composé de maçonnerie, ou d'autres corps solides qu'on y opposera, soutiendra le

poids double du triangle des terres mouvantes *A D B*.

COROLLAIRE.

Je tire des conſequences de ces Démonſtrations, que puiſque le triangle de maçonnerie *A H D*, eſt moitié plus petit que le triangle des terres qu'il y a à ſoutenir, ſi les terres mouvantes du triangle *A D B*, ont deux degrez de force en liaiſon, & le triangle d'appui de maçonnerie *A H D*, en avoit quatre, il ſuffiroit qu'il fût encore moitié plus petit qu'on ne le propoſe pour les ſoutenir & faire le même effet, ſi encore il en avoit huit, il ſuffiroit qu'il fût réduit au quart; & pour lors l'étenduë des uns eſtant à la petiteſſe des autres, double ou quadruple &c. comme la force ou la ſolidité de ces derniers double ou quadruple de la foibleſſe, ou du peu de conſiſtance des premiers, ils ſeroient enſemble en raiſon reciproque, & par conſequent en équilibre. Mais comme les plus habiles Maiſtres dans l'Art ne peuvent pas compter juſqu'à un point précis ſur la ſolidité des murs qu'ils font conſtruire pour les déterminer, il eſt infiniment mieux de ſe laiſſer conduire par l'ordre naturel des choſes, & de faire la maçonnerie pour ſoutenir les terres ſuivant un Profil qui contienne autant que le triangle *A H D*, qui ſera plus grand ſi aprés l'eſſai qu'on en aura fait, la pente des terres eſt plus étenduë que celle de la diagonale *A B*.

On doit remarquer qu'il y a differentes maçonneries qui par rapport à la differente qualité de leurs materiaux, durciſſent davantage, & font plus de corps plus elles vieilliſſent. D'autres au contraire diminuënt de leur qualité & de leur conſiſtance tant plus elles ſont vieilles, à cauſe des eaux qui en délayent les mortiers; & qui par des racines d'arbres en deſuniſſent les joints, j'en ay vû des effets ſurprenans ſur un mur de Chauſſée du Rhoſne dans le Terroir de Beaucaire, où un Murier qui n'avoit

peutestre crû dans un joint que par une graine, avoit soulevé plusieurs assises de Pierre de taille prêtes à renverser le mur en ouvrant les joints, que le plus fort levier n'auroit sçû écarter de même sans faire un effort extraordinaire. Cependant cela ne s'estoit fait que par la séve de l'arbre successivement, & peu à peu chaque année par differens leviers & ressorts. Ce qui doit faire connoistre combien il importe de ne souffrir qu'aucune plante croisse entre les joints des murs, s'il est possible.

REDUCTION DU PROFIL.

Le Triangle en Profil *A H D*, qu'on construit de maçonnerie, est disposé autrement dans l'execution suivant l'Art; car on le reduit en un parfait quarré long en le transportant en *N P Q*, Figure onziéme, on divise *P N*, en deux également en *R*, on tire la perpendiculaire *R S*, qui forme le quarré long *R S Q N*, égal au triangle *N P Q*, à reduire.

Si on veut donner au Profil du mur un sixiéme ou un cinquiéme de talud, on divise *R S*, en cinq parties égales, si c'est un cinquiéme, & cette cinquieme partie en deux également, on en transporte une de *S* en *T*, & l'autre de *R* en *V*, on tire *T V*, pour le talud d'un cinquiéme en question, au bas duquel *V*, on forme un zocle, & à son couronnement *T*, on pose une plinte, un cordon & un parapet, ou un gardefol &c. pour amortissement.

C'est ainsi que sûrement on peut operer pour de semblables Ouvrages avec connoissance de cause dans ce qu'on proposera, & qu'on n'ira plus à tâton pour avoir recours à ce qu'on aura fait ailleurs par des exemples.

Il se peut trouver plusieurs difficultez tant de la part des terres, que du côté de la maçonnerie qu'on rencontre en differens Pays, le bon sens qui regle toutes choses sur l'experience plus ou moins de consistance de tous ces corps, peut faire prendre un parti à l'Architecte qui sera toujours tres juste, tres raisonnable, & démontré,

montré, lorsqu'il joindra à la Démonstration la Physique & les Méchaniques, pour connoistre tout ce qui peut embarasser un Homme dans ce ce fait, qui sans tous ces secours ne se tirera d'affaire qu'au hazard.

Pour l'ordinaire le pied cube de terre pese	95 livres.
Le sable,	132 livres,
La chaux,	59 livres.
L'eau,	72 livres.
La brique,	130 livres.
Le marbre,	252 livres.
Et la pierre ordinaire,	165 livres.

Tous ces materiaux different en pesanteur qui plus qui moins, suivant les differens Pays où on les trouve. On les reduit ici au Tarif que l'on en donne. Par des experiences particulieres on peut les connoistre plus précisément dans les differens Pays où l'on fera travailler, & où l'on aura des terres à soutenir.

En general la toise cube de maçonnerie pese $308 \frac{80}{100}$

Et celle de la terre pese $205 \frac{20}{100}$

Ce qui donne environ un tiers de difference que la toise cube de maçonnerie pese plus que celle de la terre. Ainsi on peut compter que trois toises cubes de terre seront en équilibre avec deux toises cubes de maçonnerie, sans compter que la solidité de ces derniers est triple, quadruple, &c. des premiers.

EXAMEN DE CES TROIS PROFILS.

Si l'on examine sans prévention & dans la pratique ces trois differens Profils, le premier établi sur l'experience, & les deux autres sur de prétenduës Démonstrations, on trouvera à tous trois de grands inconveniens.

Il n'est pas naturel de donner au prétendu de M. de Vauban cinq pieds d'épaisseur au sommet, si le mur en question n'a que dix pieds de haut, comme la Table le suppose. Et s'il est vray que ce grand Homme ait voulu

donner une pareille épaiſſeur au couronnement d'un mur de rempart, cela a eſté plûtoſt pour reſiſter à l'effort du boulet de canon, qui un jour devoit le renverſer & le battre, que pour ſoutenir le poids des terres, auſquelles certainement il ne faut pas cette épaiſſeur de mur pour les arreſter.

Le Profil que propoſe M. Bullet peut eſtre propre à certaines hauteurs de terre à ſoutenir, & ſeroit d'une dépenſe immenſe s'il falloit l'employer à ſoutenir les terres d'un rempart de 80 pieds de hauteur. Car ſi 36 pieds de haut donnent 10 pieds de largeur de mur au ſommet, 80 doivent donner 22, ce qui eſt une épaiſſeur extraordinaire à la vouloir comparer à l'Uſage & au Profil prétendu de M. de Vauban. La Démonſtration de M. Bullet ſe pourroit fort bien accommoder à ſupporter des terraſſes de cinq à dix pieds de hauteur, mais non pas au-deſſus, ſans employer beaucoup d'épaiſſeur de maçonnerie inutile.

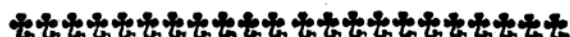
Celle que je propoſe, quoique démontrée dans l'Uſage, ne laiſſe pas que d'avoir ſes défauts. Elle peut eſtre employée aux plus grandes hauteurs des terres qu'il y auroit à ſoutenir, mais non pas de cinq à dix pieds, où le mur n'auroit pas aſſez d'épaiſſer par rapport à l'effort que pourroient faire les terres eſtant chargées de voitures, d'affûts de canons, de mortiers, &c. Tous corps plus ou moins peſans qui par leur mouvement ébranlent les terres qui les ſupportent, & celles-ci à proportion pouſſent & peſent contre les murs qui les retiennent. Il paroît donc que quelques Démonſtrations que l'on faſſe ici, on doit proportionner tous les Profils de maçonnerie qui doivent ſoutenir des remparts & des terraſſes aux efforts que les uns & les autres peuvent ſouffrir. C'eſt ſur cette idée generale que j'ay reduit par une Table tous ces differens Profils à l'uſage des Terraſſes & des Chauſſées ſeulement qu'il y aura à retenir. Que ſi on veut les mettre à l'uſage des Fortifications, pour lors on pourra leur

donner à leur sommet l'épaisseur portée par la Table de feu M. le Maréchal de Vauban avec ses Contreforts, afin de pouvoir resister à l'effort du boulet de canon.

La Table que je propose est faite sur un 5ᵉ de talud. Elle pourra estre reduite par un compte fort aisé à un sixiéme, ou à toute autre difference, de la maniere que j'ay proposée ci-devant, en reduisant en un quarré long tout le Profil en question, pour luy donner le talud qu'on se sera proposé. Si on veut enfin l'employer à l'usage des fortifications, on n'aura qu'à y joindre les Contreforts énoncez dans la Table prétenduë de M. de Vauban.

Table des Profils des murs de soutenement des terres à l'usage des Terrasses & des Chaussées depuis cinq pieds de hauteur jusqu'à 80, que l'on peut continuer audelà, si l'on veut, suivant la méme Progression.

Hauteur des murs	Largeur au sommet.		Largeur au bas.	
Pieds.	Pieds.	Pouces.	Pieds.	Pouces.
5	2	0	3	0
10	2	4	4	4
15	2	8	5	8
20	3	0	7	0
25	3	4	8	4
30	3	8	9	8
35	4	0	11	0
40	4	4	12	4
45	4	8	13	8
50	5	0	15	0
55	5	4	16	4
60	5	8	17	8
65	6	0	19	0
70	6	4	20	4
75	6	8	21	8
80	7	0	23	0



CHAPITRE VII.

Des forces que les chevaux employent à la traite de toutes sortes de voitures montées sur des roues, & parcourans differens Plans, plus ou moins élevez.

FEU M. Sauveur de l'Academie Royale des Sciences, Maistre des Mathematiques des Enfans de France, avec le R. P. Sebastien, ont fait des experiences sur ces faits. Ces Messieurs ont suspendu un poids à une corde qui ayant passé par dessus la poulie d'un puits, & tiré orizontalement par un cheval d'une force moyenne, ils ont trouvé que ce poids estant de 175 livres, n'a pû estre tiré que par la force de sept hommes avec la même facilité que le Cheval le tiroit; d'où ils ont conclu que la force d'un homme estoit de 25 livres, & celle d'un cheval sept fois plus grande par consequent.

En mon particulier sans estre prévenu de cette experience, j'en ay fait à peu prés une pareille, mais inverse; c'est qu'ayant attaché un poids *D*, de 100 pesant à une poulie, ou à une roüe *BIH*, Planche troisiéme, Figure cinquiéme, pour tirer le chariot *FE*, sur un Plan orizontal *AH*, parfaitement uni, j'ay trouvé que le poids *D*, de 100 pesant a fait rouler le chariot de 800 pesant, ce qui est comme 1 à 8, au lieu que suivant l'experience de M. Sauveur & du R. P. Sebastien, comme 1 à 7, cette difference de 8 à 7 qui est un huitiéme entre les experiences de part & d'autre, peut provenir de differens frottemens, & de differentes causes qu'il est tres difficile de pouvoir déterminer bien precisément comme du plus ou moins grand rayon de la roüe ou de la poulie.

De ces experiences je conclus qu'un cheval employant un degré de force en poids, tirera sur un Plan orizontal

un chariot pesant avec toute sa charge huit fois autant, que le Plan orizontal en doit supporter sept, & l'effort du cheval un huitiéme, & cela avec des rouës dont l'essieu est à la hauteur des cuisses du cheval. Ce qui fait voir que le levier des rouës à l'essieu est comme de 1 à 8 à cette hauteur. Il n'y a pas de doute que si les rouës estoient plus grandes qu'il ne fallût employer moins de force pour tirer la charge, & au contraire qu'il ne fallût y en employer davantage si elles estoient plus basses comme sont les avant-trains ou leurs essieux audessous des cuisses des chevaux où se fait leur mouvement entre le femur, & l'os Ischion dans l'emboiture qui est leur point d'appui.

Que si au contraire il falloit enlever un poids verticalement à plomb, ou perpendiculairement sur un Plan orizontal, il faudroit employer huit fois autant, ou sept fois autant de pesanteur pour le soulever. Ce qui fait voir combien plus on trouve de difficulté dans les voitures lorsqu'on est obligé de monter des collines plus ou moins rapides; car plus elles approchent de l'aplomb ou de leur perpendiculaire, plus les chevaux sont obligez de faire des efforts. C'est dans ces mouvemens plus ou moins violens qu'on fait faire à tous les chevaux qui tirent en montant, que les uns ou les autres perissent par des efforts extraordinaires. Aussi peut-on dire combien est à préferer un chemin qui a une pente plus aisée quoique plus long, à un autre plus rapide quoique plus court, puisque les voitures ne souffrent point tant, & ne sont pas en danger d'y prendre du mal par des efforts trop violens que les Voituriers leur font faire en les maltraitant. J'ay calculé toutes ces forces sur differens Plans inclinez, pour sçavoir jusqu'à quel degré les chevaux pourront tirer les voitures roulantes, ce qui est plus utile que curieux; s'il estoit possible de rendre la chose sensible aux Voituriers en leur faisant connoistre de combien il faudroit augmenter le nombre des chevaux à leur

voiture pour tirer également sans faire davantage d'effort qu'ils font lorsqu'ils roulent dans une plaine. Comme ces sortes de gens n'ont devers eux que l'experience, pour l'ordinaire dans de longs voyages ils vont de compagnie pour s'aider mutuellement lorsqu'ils ont à monter des hauteurs trop rapides, ils accouplent leurs équipages de deux voitures à une seule pour gagner la hauteur de la montée, & quand ils ont une fois conduit ainsi une voiture audessus de la hauteur, ils s'en vont reprendre l'autre. Mais comme ils ne sçavent pas jusqu'où se porte l'effort que doivent faire leurs chevaux en roulant sur des Plans plus ou moins élevez, voici les experiences que j'ay faites sur ce sujet pour connoistre jusqu'où ils peuvent atteindre, afin d'augmenter les voitures à mesure que la pente peut estre plus ou moins rapide.

La force d'un cheval ordinaire est de tirer 500 pesant dans un chemin, dit M. Sauveur, c'est ainsi à peu prés qu'on compte que les Rouliers qui vont d'Orleans à Paris doivent estre chargez; & si un cheval fait effort de 175 livres qui est à peu prés le tiers de 500, on doit en conformité de ces mêmes efforts charger les voitures roulantes par rapport aux chevaux qu'on y employera pour les voiturer sur un chemin de niveau; mais s'il faut monter on doit augmenter le nombre des chevaux, ou bien ceux qu'on y employera qui faisoient effort dans la plaine pour 175 degrez de force pour tirer les 500 pesant, doivent faire des plus grands efforts audessus de 175, pour tirer les mêmes 500 pesant par rapport à la montée plus ou moins rapide.

Mes experiences sont, c'est qu'ayant fait rouler le chariot *E F*, chargé de 800 pesant sur un Plan parfaitement de niveau avec un poids *D*, de 100 pesant, ce même chariot a roulé sur un Plan élevé de 10 degrez, numero *B*, 10 avec un poids de 200 pesant, & ainsi de suite comme en la Table ci-aprés. Que si on trouve que le nombre de 8 dans la troisiéme colomne est en équilibre avec

celui de 8, dans la quatriéme à 70 degrez d'élevation, c'est que le frottement du poids de la rouë sur le Plan incliné est en puissance égale avec le surplus du poids qui tire. De même le chariot roulant encore sur une rampe de 80 degrez d'élevation, le poids de neuf, colomne troisiéme, estant en équilibre avec celui de 8, colomne quatriéme qui donne un de plus, c'est que le frottement fait cette difference d'un huitiéme, mais le même poids de 8, colomne troisiéme, s'est reduit en poids de 8 dans la même colomne au 90ᵉ degré, c'est que pour lors montant à plomb ou perpendiculairement sur la rouë qui le faisoit mouvoir, & sans aucun frottement sur le Plan qui n'est plus incliné, il n'a dû estre arrêté par quoy que ce soit, mais a dû demeurer en équilibre avec pareil poids ou effort qui le tiroit, nº 8, colomne quatriéme vis à vis du 90ᵉ degré.

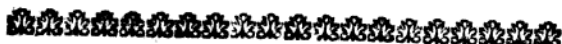
Degrez d'élevation d'une montée	Pesanteur ordinaire de la voiture d'un cheval.	Nombre des chevaux pour monter une même charge également à differentes montées.	Poids selon l'experience, enlevez suivant divers efforts en differentes montées
1	2	3	4
0	500 l. pesant.	1	8
10	500	2	8
20	500	3	8
30	500	4	8
40	500	5	8
50	500	6	8
60	500	7	8
70	500	8	8
80	500	9	8
90	500	8	8

DES CAROSSES.

En fait des voitures roulantes on trouve des choses bien particulieres dans l'Histoire.

On lit qu'en 695, les Rois de France ne se montroient au Peuple qu'une fois l'an, lors de l'Assemblée des Etats qui se tenoit le premier jour de Mars, & ne sortoient que dans un chariot tiré par des bœufs. Voyez Childebert II, Roy de France, dit le Jeune par Mezeray.

En 1585, M. de Thou Premier President au Parlement de Paris, eut le quatriéme carosse qui fut fait en France. Avant ce temps lá les Presidens & Conseillers n'alloient au Palais que sur des mules. Les Chevaux n'estoient que pour les Gens d'épée, & quand la Reine venoit du Château de Madrid à Paris, elle se mettoit en croupe derriere son Ecuyer. Il y avoit aussi chez les Gens de qualité des coches pour la commodité des Femmes; mais comme ils n'estoient pas suspendus, les Dames aimoient mieux aller en croupe que dans une voiture si fatigante.



CHAPITRE VIII.

De la retenuë de toutes sortes de corps pesans, qu'on fait descendre par plusieurs tours de corde autour d'un essieu immobile, de leur mesure, de leur force, & de leur frottement; & la maniere de les determiner à quelque pesanteur qu'ils puissent descendre & supporter.

Les frottemens dans les machines, soit dans les diverses parties des rouës, soit surtout dans les pivots, les tourillons, les essieux &c. apportent tant de changement aux effets qu'on se propose, que la réussite qu'on

en esperoit n'est pas toujours suivie d'un heureux succés, faute de n'avoir pas prévû ces difficultez qu'on compte bien souvent pour des minuties. Les Charons ne sçavent point de meilleur expedient pour prévenir les fautes qu'ils font dans les jours des moyeux, que de graisser avec du saindoux l'essieu des roues. Mais on ne peut pas faire la même chose dans plusieurs autres machines. Et plus il s'y trouve du frottement, plus il faut des efforts pour les faire mouvoir.

Plus un essieu est grand, plus il faut de force pour le faire mouvoir. Plus la circonference approche de l'interieur du jour du moyeu, ou du trou dans lequel il doit tourner, plus on a de la peine à le mouvoir, parce qu'il porte davantage dans le tour du cercle dans lequel il tourne, & autour du quel il frotte, ou celui-ci autour de l'essieu, ce qui revient au même. C'est le même des pivots élevez perpendiculairement, ou qui tournent verticalement, plus ils sont grands, & s'éloignent du centre de la crapaudine, ou de la grenoüillette dans laquelle ils doivent tourner, plus on a de la peine à faire mouvoir les ventaux des portes qu'ils supportent. Il seroit bon qu'ils ne portassent que sur un point, s'il estoit possible, comme on a imaginé depuis peu dans ceux dont on se sert pour supporter les portes d'écluses, & dont deux pointes de cone diametralement opposées, font toute la bonté du pivot.

Pour chercher quelques regles dans les Méchaniques, qui pût déterminer le frottement de tous ces corps plus ou moins, par rapport à leurs circonferences, j'ay fait plusieurs experiences, & je n'en ay trouvé aucune plus sensible que celle que j'ay faite avec plusieurs tours de corde autour d'un appui immuable, qui estoit rond, en sorte que pesant un poids de deux livres, Planche premiere, Figure sixiéme, sur un bâton arrondi, je n'ay pû contrebalancer, & faire monter le poids 2 en haut, qu'en posant un autre poids de l'autre côté

pesant cinq livres, & cela par un frottement d'un demi tour, autour du bâton.

Lorsque j'ay voulu mettre ce même poids 2, Figure septiéme, au même bâton, avec trois demi tours de corde, je n'ay pû le faire remonter qu'avec une puissance de poids de seize livres pesant.

Et enfin, lorsque j'ay voulu faire remonter encore le même poids de deux livres, Figure huitiéme, avec cinq demi tours de corde au tour du même bâton, cela n'a pû se faire qu'avec une puissance de cent quatre-vingt douze livres pesant

De maniere qu'on peut dire qu'un poids de deux livres, Figure premiere, avec un demi tour de corde sur un corps rond, suspendra un corps de cinq livres pesant. Le même corps de deux livres pesant avec trois demi tours, en arrêtera un autre de 192 livres pesant, comme on le voit en la Figure neuviéme de la troisiéme Planche; où un homme seul descendra dans une cave un muid de vin pesant environ 400, *D E*, avec deux livres pesant en *B*, par le moyen de cinq demi tours de corde en *A*, autour de la barre. Car si le muid *E D*, pese 400, il est certain que *E B*, *D A*, en portent chacun la moitié qui est 200. Or *A*, cinq demi tours suivant l'experience font comme 2 à 192 ou 200, je néglige le nombre de 8 comme surplus. Donc les mains *B*, de l'homme faisant effort pour deux livres seulement pesant, avec cinq demi tours de corde, balanceront le muid pesant prés de 400, pour le descendre insensiblement dans la cave lorsqu'il sera retenu par deux cordes, & de prés de 200 pesant quand il ne sera retenu que par une *A D*, supposé même que le muid en question ne fût supporté par aucune rampe, & qu'il descendît à plomb comme dans un puits.

En fait d'experiences on ne sçauroit trop les réiterer pour les accuser justes. On le voit dans celle que je viens de proposer, & que je n'ay pû resoudre pour en rendre

raison que par les nombres, en cherchant une Regle de proportion de progression aritmethique, qui me donna à un certain éloignement une verité que je ne pouvois pas connoistre de trop prés par les frottemens de la corde autour du bâton arrondi. La moindre circonstance peut apporter beaucoup de difference à toutes ces choses, qui empêche bien souvent de trouver une verité qu'on cherche. Voici enfin comme j'ay rencontré la proportion de ces nombres par rapport à leurs frottemens.

J'ay dit s'il est vray que deux ayent tenu en raison en un demi tour de corde un poids de cinq livres, il s'ensuit que le frottement est au poids comme 2 à 5, qui est deux fois deux & demi, qui font cinq pour le premier demi tour. Et partant il y aura trois degrez de frottement en difference pour un demi tour.

Pour le deuxiéme demi tour, je prends la puissance de cinq, & la multipliant par deux & demi je trouve douze & demi.

Pour le troisiéme demi tour, je prends la puissance de douze & demi que je multiplie par deux & demi, qui font trente-un & un quart. Donc il y a erreur dans mon experience qui ne donne que seize; mais je continuë ma regle de progression, sans avoir égard à l'erreur.

Pour le quatriéme demi tour, je prends la puissance de trente-un & un quart, que je multiplie par deux & demi, qui me donne 78, je néglige quelques fractions qui me restent.

Et enfin pour le cinquiéme demi tour, je prends la puissance de 78, que je multiplie toujours par deux & demi, ce qui me donne 195, terme fort approchant de mon experience qui est 192, & ainsi de suite jusqu'à quelque poids que ce puisse estre, qui augmenteroit si fort en puissance, qu'on pourroit le mettre en équilibre dans peu à supporter toute la pesanteur de la terre, s'il estoit possible de trouver des instrumens, & des lieux stables audelà de son Globe pour pouvoir s'y assurer. C'est faire

encore beaucoup que par de pareilles puissances on puisse déterminer jusqu'où l'on peut porter les forces des leviers & des frottemens dans les Méchaniques.

C'est de ces mêmes frottemens dont on se sert avec tant de raisons dans les Arts, & dans toutes les machines. On ne sçauroit s'en passer chez les Tourneurs, dans l'Art de la Verrerie, à descendre de lourds fardeaux. Les mâts ne sont amenez au bas des Montagnes les plus rapides que par de pareilles tours de corde, autour des corps morts immuables qui sont des troncs d'arbres, ou de gros pieux arrondis qu'on plante au bord des précipices, & des coulans par où l'on les fait descendre. Les bateaux dans les rivieres navigables ne sont arrêtez que par de pareilles frottemens de tours de cordes autour de gros pieux arrondis qu'on plante en certains endroits de leurs bords. Si on fait trop de ces tours de corde, il est à craindre que le cable ne casse. Si on en fait trop peu le cable peut filer & le bateau perir. Il en faut une certaine quantité pour déterminer & mettre en équilibre le bateau à descendre le long du fil de la riviere, & sous certains Ponts sans précipitation, pour ne pas aller échoüer sur quelqu'un de ses bords. Ceux qui font cette manœuvre n'ont devers eux que l'experience, qui fait que bien souvent ils se blessent, ou s'estropient quand ils ne rangent pas bien leurs demi tours. Par les Méchaniques on en détermine les efforts. Si les Ouvriers se conduisoient par ces principes, c'est sans difficulté qu'ils ne feroient pas tant de faute comme ils font. Ils n'hazarderoient rien, & sçauroient jusqu'à un quart de tour le frottement qu'il faudroit employer pour soutenir quelque poids immense qu'on leur proposeroit.

Cette regle qu'on vient de suivre, pourroit changer si le même poids estoit appliqué à un essieu de plus grande circonference, de sorte que se trouvant davantage de frottement, au lieu de trois qu'on a trouvé en augmentation de poids, on en pourroit bien rencontrer

quatre, & sur cela il n'y a que les experiences réiterées qui puissent faire de cette hypothese une Regle generale pour déterminer bien au vray la chose. Les Essieux plus ou moins raboteux & polis, & les cordes qui coulent autour par le moyen des charges, estant plus ou moins usées, plus ou moins roides ou souples, peuvent encore y apporter du changement, mais non pas à la proportion de la progression aprés un coup d'essai, qui doit estre toujours la même suivant la premiere épreuve qu'on en aura fait d'un demi tour.



CHAPITRE IX.

De la percussion des Corps qu'on fiche, comparée avec la pesanteur de ceux dont on les charge.

LA question de la percussion est des plus difficiles à expliquer dans les Méchaniques. Jusqu'aujourd'hui on n'en a pas pû trouver bien au vray la solution. Voyez le R. P. Dechales dans son Traité du Mouvement local, ou du ressort, Livre 4, proposition premiere.

Voici ce que je pense sur cette matiere.

HYPOTHESES.

Si l'on prend un cloux *O L M*, Planche quatriéme, quon le pose à plomb sur une Planche *A I*, dont la nature du bois soit partout égale & uniforme, & qu'on le frape avec un coup de marteau, en sorte qu'il enfonce dans le bois *L M*, de la hauteur *L M*, de 12 lignes, ou telles autres parties qu'on voudra.

Ensuite si avec un semblable cloux *G H*, on le pose sur la même Planche *A I*, & qu'on y mette sur la tête *G*, un poids qui le fasse enfoncer par sa seule pesanteur jusqu'à *H*, ou autant que *L M*, comme a fait le coup de marteau de 12 autres lignes, il n'y a pas de doute que la pe-

ſanteur du corps *E F*, de l'un ſans mouvement, ne ſoit en raiſon reciproque à la viteſſe du coup de marteau de l'autre ; puiſque la peſanteur du corps *E F*, fait enfoncer également le cloux *G H*, comme la viteſſe du coup de marteau. Ainſi *L M*, 12 lignes d'enfoncement de la viteſſe du coup de marteau *N O*, eſt à la même profondeur *X H*, 12 lignes, poids du corps *E F*.

Suppoſons de plus que le corps *E F*, ſoit de cent peſant, & que la viteſſe *N O*, du marteau ſoit auſſi de cent degrez de viteſſe pour eſtre en équilibre avec la peſanteur du corps *E F*, en queſtion. Il n'y a pas de doute que la peſanteur de l'un ne ſoit à la viteſſe de l'autre, comme leurs effets reciproques.

Mais par un deuxiéme coup de marteau égal au precedent de 100 degrez de viteſſe, le cloux en queſtion *L O*, a enfoncé juſqu'en *C*, de moitié moins qu'auparavant, ou de ſix lignes, parce qu'il y a eu plus de bois à penétrer & à écarter, ce qui l'a arreſté davantage. Et enfin par un troiſiéme coup de marteau *C D*, de même égal au premier par la même raiſon, n'a enfoncé dans le bois qu'à moitié moins du coup precedent *C M*, qui eſt *C D*, & ainſi de ſuite, parce qu'il rencontre toujours plus de matiere à penétrer, & à écarter, & qu'il ſe trouve plus de parties audeſſous qui l'arrêtent, qui le ſerrent & qui le frottent davantage en maniere de coin, plus on le fait deſcendre. Il eſt certain que ſi l'on compare tous ces efforts qui ſont enſemble les mêmes par rapport à la viteſſe égale du coup de marteau qu'on ſuppoſe toujours le même, mais differens à penétrer la ſubſtance du bois, par rapport au plus & au moins de reſiſtance qu'ils y trouvent, on verra que *L M*, 100 degrez de viteſſe, feront à *M C*. autre 100 degrez de viteſſe, deuxiéme coup de marteau, & moitié moins d'enfoncement comme 12 à 6. Que ſi par un troiſiéme coup de marteau on enfonce le cloux juſqu'en *D*, moitié moins que *M C*, encore celui-ci ſera à *M C*, comme 3 à 6, puiſque *M C*, eſt

à $M\,L$, comme 6 à 12. Mais $L\,M$, vaut 100 pesant, & $M\,C$, qui luy est égal vaut un autre 100 pesant, & $C\,D$, de même un autre cent pesant. Donc $L\,D$, vaudra 300 pesant, & pour faire enfoncer le cloux $G\,H$, autant que $L\,D$, par une pesanteur sans vitesse, il auroit fallu un corps $E\,F$, de 300 pesant; ce qu'il falloit démontrer.

C'est par cette raison qu'on peut sçavoir combien un terrain de mauvaise consistance pourra supporter de charge par le moyen d'un pilotage. Supposons pour cela que $O\,L$, soit un pieu que l'on veut faire servir pour supporter une charge de 300 pesant, ou de 3000, il n'y a pas de doute que si aprés avoir fait l'essai de l'effort d'une sonnette, pour sçavoir avec quelle pesanteur la vitesse de son coup de mouton peut estre comparée, on ne sçache combien il faudra enfoncer le pieu, & le nombre de coups dont il faudra le fraper, pour luy faire supporter la charge qu'on se sera proposé. Car si le premier coup vaut 100 pesant, & qu'il faille charger le pieu de 1000 liv. c'est sans difficulté que 10 coups de sonnette dont on frapera la tête du pieu, toujours égaux, seront en raison reciproque avec les 1000 pesant dont on voudra le charger, & que 30 coups seront par consequent de même à trois milliers, & ainsi de suite.

Par ces calcul on pourra déterminer sûrement la charge qu'on voudra faire supporter à un pilotage.

Que si enfin on joint tous les efforts des pilots plantez sans refus, & qu'on les compare par cette regle à un essai d'un poids qu'on en aura fait auparavant, on pourra sçavoir jusqu'à quelle charge de maçonnerie on voudra leur faire supporter, & par ce moyen diminuer, ou augmenter le nombre des pilots en question, pour n'en employer que ce qui sera necessaire, & épargner le superflu comme inutile.

Ce n'est pas assez que d'avoir déterminé la charge qu'on veut faire supporter à un pieux, par rapport à la vitesse & à la pesanteur de la sonnette ou du mouton, mais le

principal eſt de ſçavoir comment cette ſonnette, ce mouton, ou plutoſt ce marteau, ne peſant qu'une livre, avec un ſeul petit coup enfoncera un cloux auſſi avant dans une Planche, que pourra faire le poids d'une pierre peſant un cent, deux cent, trois cent, &c.

Suppoſons que le corps dont on charge le cloux ſoit d'un cent peſant, & qu'il le faſſe enfoncer de 100 lignes de profondeur, il n'y a pas de doute que ſi on diviſe l'eſpace *NO*, que le marteau parcourt en cent parties égales, & en quatre inſtans égaux, la viteſſe du marteau qui ne peſe jamais qu'une livre en luy-même depuis le moment que la main le fait partir du point *N*, pour arriver au point *O*, il ne faille qu'il argumente de viteſſe à chaque inſtant égal qu'il parcourera dans l'eſpace de cent. En ſorte que ſi dans le premier inſtant égal au deuxiéme, la viteſſe eſt de 10, celle du deuxiéme ſera par exemple de 20, celle du troiſiéme de 30, & enfin celle du quatriéme de 40, pour pouvoir peſer tous joints enſemble le nombre de cent qu'il falloit déterminer; car 10, 20, 30, & 40 joints enſemble font le nombre de 100, ainſi l'eſpace *NO*, ſera parcouru par le coup de marteau en un moment compoſé de quatre inſtans égaux, mais avec des viteſſes inégales, comme de 1 à 2, de 2 à 3, de 3 à 4, &c. ou tels autres qu'on voudra qu'on a imaginé que parcourent les corps en tombant ſuivant differentes progreſſions telles qui conviendront le mieux au ſujet; & dont on n'eſt pas bien encore d'accord de la differente maniere parmi les Sçavans, quoiqu'on convienne des effets qu'on trouve toujours veritables, & deſquels on eſt aſſuré.

OBJECTIONS.



OBJECTIONS.

De tres habiles Gens qui ont examiné cet Ouvrage, ont objecté deux choses aux Démonstrations que j'ay rapportées.

LA Premiere dans le Chapitre deuxiéme, *que les cordes des Arcs sur lesquelles on fait la Démonstration de la Poussée des voutes, peuvent bien n'avoir pas la même puissance que les Arcs mêmes, ainsi la Démonstration n'estre pas juste.*

La deuxiéme dans le Chapitre neuviéme, *c'est qu'on ne croit pas qu'on puisse comparer la percussion d'un pieu à la pesanteur de sa charge, & que la premiere épreuve qu'on en aura faite, soit en raison reciproque de la deuxiéme, troisiéme, &c. & de la Démonstration qu'on en a faite.*

REPONSE A LA PREMIERE OBJECTION.

QUAND j'ay pretendu faire la Démonstration de la puissance des voutes sur leurs Pieds-droits, je n'ay pas voulu chercher de doubles difficultez en expliquant l'effort de l'Arc, dont les parties sont incommensurables. Je l'ay au contraire supposé comme une ligne droite pour en faciliter la Démonstration, afin de la rendre aisée à comprendre à tout le monde, pour en pouvoir juger plus aisément.

La ligne courbe chez tous les Sçavans est regardée comme une chose incommensurable; & les Arcs peuvent estre estimez par consequent de même. On doit cependant tabler sur quelque chose de précis en fait de Dé-

monstration, & on a supposé ici que la puissance de la courbe estoit comparée à celle de sa corde, qui en faisoit le segment.

Examinons differemment les dispositions des corps rangez en lignes courbes.

Si l'on prend un bâton parfaitement droit, & également gros partout & pliant, qu'on le recourbe par une corde qui l'arrêtera aux deux bouts *A*, & *E*, Figure premiere, Planche premiere, en sorte qu'on luy fasse tenir la Figure du quart de cercle *A O E*, c'est sans difficulté que ce bâton ainsi recourbé fera effort sans cesse pour se redresser, pour suivre la disposition de la corde *A I E*, en partageant les efforts moitié vers *E*, & moitié vers *A*, & suivant les directions *I E*, *I A*, on peut donc dire que si ce bâton estoit employé pour former la moitié d'une voute, il agiroit ainsi suivant ses ressorts.

Si au contraire le même bâton *A I E*, estoit aussi long pour en former un demi cercle *A E M*, retenu par une autre corde *A M*, qui forme son diametre, ce même bâton pousseroit sans cesse d'un côté de *M*, en *R*, & de *A*, en *V*, suivant la direction de la corde *A M*, qui le tiendroit ainsi en raison, & comme forcé à faire sans cesse effort pour éloigner & renverser les Pieds-droits des points *A* & *M*, en les écartant les uns des autres.

Si enfin on formoit du pretendu bâton un cercle parfait, il n'y a pas de doute qu'estant retenu de toutes parts, il ne fist effort dans tous les points de sa circonference, pour s'écarter de son centre, & pour se redresser. C'est ainsi qu'on doit le penser raisonnablement ce me semble.

Mais si à la place de ce bâton recourbé on forme l'Arche *A E M*, avec des pierres taillées en coin, qu'on appelle Voussoirs, leur arrangement agira tout autrement que la disposition du bâton en question. Car tous ces Voussoirs par leur pesanteur tendront à descendre sur *A M*, à plomb; & s'ils sont retenus suivant la Figure

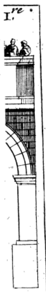
du ceintre, ce n'eſt que par les differens Plans de leur coupe, qui ſont que ceux du deſſus ſont arrêtez par ceux du deſſous, en ſorte qu'on peut dire que les tas de charge à ces points, *A* & *M*, ſur les Pieds-droits, ſupportent toute la voute avec deux differentes puiſſances ; ſçavoir, 1°, La Clef *E*, qui tend à deſcendre par ſon aplomb *F*, ne ſçauroit le faire qu'en écartant de part & d'autre les autres Vouſſoirs ou les contreclefs les plus proches vers *Q*, & vers *H*. 2°, Et enfin le tas de charge au point *A*, c'eſt de deſcendre ſuivant le même aplomb *DA*, en ſorte que ſi ſuivant ces deux efforts de la voute, l'un de la part de la Clef de *E* en *H*, & l'autre de celui du tas de charge en bas ſuivant *DA*, on cherche un effort moyen, ou une moyenne proportion, on trouvera que réuniſſant ces deux efforts ils tendront ſuivant *EA*, ſur laquelle tendance j'ay fait la Démonſtration de l'hypotheſe ; & de l'autre côté ſuivant la même diſpoſition ; on peut donc avancer que le diametre, ou la corde *AM*, tenant en raiſon toute la voute par la ſolidité, ou la force des Pieds-droits qu'on y oppoſe, en empêche la ruine, ou la chute, à peu prés comme l'entrait aſſure les Arbalêtriers qui tiennent en raiſon tout l'aſſemblage d'un comble.

J'eſtime donc qu'à quelque voute ſurbaiſſée que ce puiſſe eſtre, la corde tirée du milieu de la Clef à l'impoſte, à la naiſſance ou à l'endroit où commence le tas de charge, déterminera l'effort de quelque voute que ce puiſſe eſtre ſur les Pieds-droits qu'on y oppoſera.

Si aprés cela on peut ſuppoſer quelque choſe de mieux que ce que j'avance pour prouver ce que je propoſe, le Public ſera tres redevable à ceux qui en prendront la peine, afin de pouvoir mieux déterminer l'effort des voutes par de nouvelles & plus juſtes hypotheſes ; & par conſequent je conclus ſuivant ces ſuppoſitions, que les cordes des Arcs dirigent la tendance de leurs efforts, & qu'un bâton recourbé en forme d'Arc, ne l'eſt qu'autant

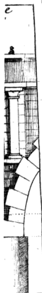
que la corde qui le tient en raison l'y contraint. Car enfin si on le relâche peu à peu, il reprendra la figure droite de sa corde, telle que la nature l'avoit ainsi disposé auparavant, & la corde n'aura de tendance & d'effort que autant que l'Arc plus ou moins recourbé la forcera.

Il me paroist encore qu'il est trés aisé de répondre à la deuxiéme Objection, si l'on m'accorde une fois que le premier coup de marteau qui frape un clou, & l'enfonce d'un pouce, comparé avec un poids qui fait enfoncer le même clou d'un pouce, sont en raison reciproque de leurs effets; je ne vois pas qu'un second coup de marteau égal au premier, le faisant enfoncer plus avant dans le bois, un double poids valant les deux coups de marteau, ne puisse faire enfoncer un semblable coup, autant que les deux coups de marteau en question. On peut faire de semblables experiences pour le prouver, il n'y a rien qui y repugne; & tant qu'on ne sera pas convaincu du contraire, j'aurai devers moy la raison & l'experience. Ainsi *G*, voyez Planche quatriéme, poids estant à *O*, premier coup de marteau, de même *X* à *L*, deuxiéme, troisiéme & quatriéme coup de marteau ou de sonnette sur un pieu, & par consequent les charges en raison reciproques des percussions, ce qu'il falloit démontrer. FIN.

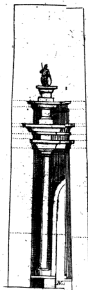

I.re

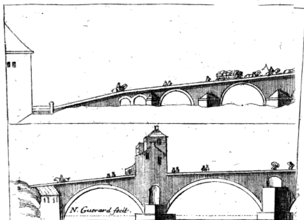


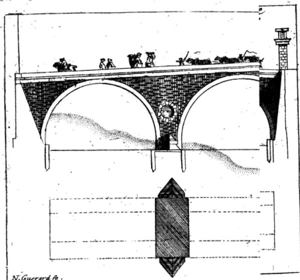



e




N.1


N. Guerard fecit.

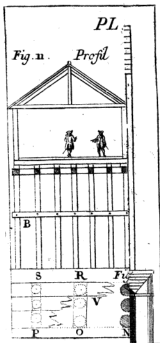

N. Guerard fe.

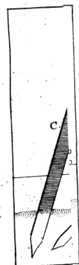

N. Gu

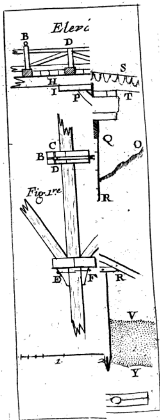







PL.
Fig. 11.
Profil
B
S
R
Fig
V
P
O
N


C.


Elevi
B
D
S
H
I
P
T
Q
O
C
B
D
R
Figure
E
F
R
V
1.
Y

VI.



[vation.











M

3. T.

XVII.





g. 2e



ig. 4e

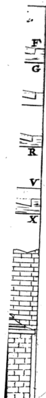


ig. 5e

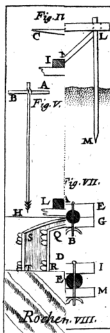


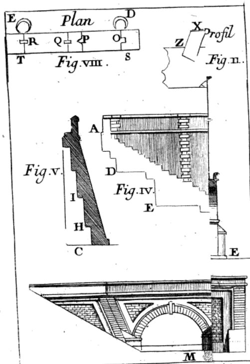
g. 8e



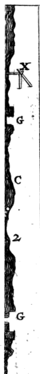

F
G
R
V
X

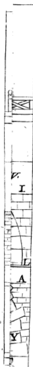
ig.
V.

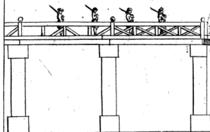

Fig. II
C
L
I
A
B
Fig. V.
M
Fig. VII.
L
E
H
G
S
Q
B
D
I
T
R
E
M
Rochen
VIII.

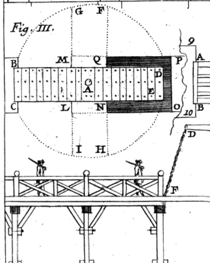


E
Plan
D
R
Q
P
O
T
Fig.VIII.
S
X
Profil
Z
Fig.II.
A
Fig.V.
D
Fig.IV.
I
E
H
C
E
M


X
G
C
2
G


V.
I
L
A
Y


Fig. I.


Fig. III.
G
F
9
B
M
Q
P
A
D
A
E
C
L
N
O
10
B
D
I
H
F